

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 Date of Application: 2002年12月12日

出願番号 Application Number: 特願2002-360386

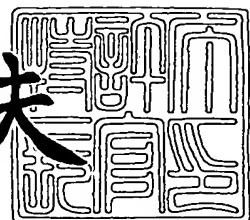
[ST. 10/C]: [JP2002-360386]

出願人 Applicant(s): 株式会社デンソー

2003年10月24日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願
【整理番号】 P02099
【提出日】 平成14年12月12日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 F02D 41/14
【発明者】
【住所又は居所】 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
【氏名】 近藤 和吉
【特許出願人】
【識別番号】 000004260
【氏名又は名称】 株式会社デンソー
【代理人】
【識別番号】 100098420
【住所又は居所】 名古屋市中区金山一丁目9番19号 ミズノビル4階
【弁理士】
【氏名又は名称】 加古 宗男
【電話番号】 052-322-9771
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 036571
【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 9406789
【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 内燃機関の気筒間ばらつき検出装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数の気筒を有する内燃機関の吸気管を流れる吸入空気量、吸気管圧力、筒内圧の少なくとも 1 つを検出する検出手段と、

所定のばらつき学習実行条件が成立する運転領域のときに、前記検出手段の出力に基づいて気筒間の吸入空気量ばらつき率又は気筒別吸入空気量を算出してその算出値を気筒間ばらつき学習値として学習する気筒間ばらつき学習手段と、

前記ばらつき学習実行条件が成立しない運転領域のときに、前記気筒間ばらつき学習値を用いてその時点の運転領域に応じた気筒間吸入空気量ばらつき率又は気筒別吸入空気量を推定する気筒間ばらつき推定手段と

を備えていることを特徴とする内燃機関の気筒間ばらつき検出装置。

【請求項 2】 前記ばらつき学習実行条件は、燃料カット時及び／又はクランクキング時に成立することを特徴とする請求項 1 に記載の内燃機関の気筒間ばらつき検出装置。

【請求項 3】 前記ばらつき学習実行条件は、減速運転時に成立することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の内燃機関の気筒間ばらつき検出装置。

【請求項 4】 前記ばらつき学習実行条件は、機関回転速度が所定回転速度以下で且つ吸入空気量が所定量以上のときに成立することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の内燃機関の気筒間ばらつき検出装置。

【請求項 5】 前記気筒間ばらつき学習手段は、前記ばらつき学習実行条件が成立する運転領域のときに、吸気バルブ、排気バルブ、スロットルバルブのうちの少なくとも 1 つのバルブ動作条件を所定の学習時バルブ動作条件に変更して前記気筒間ばらつき学習値を学習することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の内燃機関の気筒間ばらつき検出装置。

【請求項 6】 前記気筒間ばらつき学習手段は、前記ばらつき学習実行条件が成立する運転領域のときに、前記スロットルバルブの開度を全開又は吸気管圧力が大気圧付近となる開度に変更して前記気筒間ばらつき学習値を学習することを特徴とする請求項 5 に記載の内燃機関の気筒間ばらつき検出装置。

【請求項 7】 前記気筒間ばらつき学習手段は、前記ばらつき学習実行条件が成立する運転領域のときに、前記吸気バルブのリフト量を所定リフト量以下又は最小値に変更して前記気筒間ばらつき学習値を学習することを特徴とする請求項 5 又は 6 に記載の内燃機関の気筒間ばらつき検出装置。

【請求項 8】 前記気筒間ばらつき学習手段は、前記ばらつき学習実行条件が成立する運転領域のときに、吸排気バルブのバルブタイミングをバルブオーバーラップがなく且つ吸気バルブの開弁期間が上死点から下死点までの間に収まるように変更して前記気筒間ばらつき学習値を学習することを特徴とする請求項 5 乃至 7 のいずれかに記載の内燃機関の気筒間ばらつき検出装置。

【請求項 9】 可変吸気バルブ機構を制御して吸気バルブのリフト量を可変することで吸入空気量を制御する手段を備えていることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の内燃機関の気筒間ばらつき検出装置。

【請求項 10】 前記気筒間ばらつき推定手段は、前記気筒間ばらつき学習手段により学習した気筒間ばらつき学習値と、該気筒間ばらつき学習値を学習したときの吸気バルブのリフト量と、現在の吸気バルブのリフト量とを用いて、現在の吸気バルブのリフト量に応じた気筒間吸入空気量ばらつき率又は気筒別吸入空気量を推定することを特徴とする請求項 9 に記載の内燃機関の気筒間ばらつき検出装置。

【請求項 11】 前記気筒間ばらつき学習手段による気筒間ばらつき学習値の学習が完了するまで前記可変吸気バルブ機構による吸入空気量制御を禁止してスロットルバルブにより吸入空気量を制御し、前記気筒間ばらつき学習値の学習が完了した後に前記可変吸気バルブ機構による吸入空気量制御を実行する手段を備えていることを特徴とする請求項 9 又は 10 に記載の内燃機関の気筒間ばらつき検出装置。

【請求項 12】 可変吸気バルブ機構を制御して吸気バルブのリフト量を可変することで吸入空気量を制御する手段と、

複数の気筒を有する内燃機関の吸気管を流れる吸入空気量、吸気管圧力、筒内圧の少なくとも 1 つを検出する検出手段と、

前記検出手段の出力に基づいて気筒間の吸入空気量ばらつき率又は気筒別吸入

空気量を算出してその算出値を気筒間ばらつき学習値として学習する気筒間ばらつき学習手段と、

前記気筒間ばらつき学習手段による気筒間ばらつき学習値の学習が完了するまで前記可変吸気バルブ機構による吸入空気量制御を禁止してスロットルバルブにより吸入空気量を制御し、前記気筒間ばらつき学習値の学習が完了した後に前記可変吸気バルブ機構による吸入空気量制御を実行する手段と

を備えていることを特徴とする内燃機関の気筒間ばらつき検出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、気筒間の吸入空気量ばらつき率や気筒別吸入空気量を検出する内燃機関の気筒間ばらつき検出装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

一般に、複数気筒の内燃機関では、各気筒の吸気マニホールド形状の違いや、吸気バルブのバルブクリアランスのばらつき等によって各気筒の吸入空気量（筒内充填空気量）にばらつきが生じる。このような気筒間の吸入空気量ばらつきは、各気筒のトルクや空燃比にばらつきを生じさせる原因となる。気筒間のトルクばらつきが大きくなると、エンジントルクのサイクル内変動が大きくなって、運転者に不快な振動が発生するおそれがある。また、気筒間の空燃比ばらつきが大きくなると、触媒に流入する排出ガスの空燃比のサイクル内変動が大きくなるため、排出ガスの空燃比の変動幅が触媒の浄化ウインドからはみ出して排出ガス浄化率が低下するおそれがある。

【0003】

これらの対策として、気筒間のトルクばらつきや空燃比ばらつきを補正する方法が幾つか提案されている。例えば、特許文献1（特開昭62-17342号公報）に示すように、クランク軸に設けたトルクセンサで各気筒毎にトルクを検出して、各気筒のトルクが全気筒の平均トルクになるように各気筒毎に燃料噴射量を補正するようにしたものがある。

【0004】

また、特許文献2（特開2000-220489号公報）に示すように、排気管に設置した空燃比センサの出力に基づいて各気筒の空燃比を推定し、気筒間の空燃比ばらつきが小さくなるように各気筒毎に燃料噴射量を補正するようにしたものがある。

【0005】

一般に、吸入空気量の制御はスロットルバルブによって行われるが、最近では、吸気バルブのリフト量を可変する可変吸気バルブ機構を設け、アクセル開度やエンジン運転状態等に応じて吸気バルブのリフト量を可変することで吸入空気量を制御する技術が開発されている。この可変吸気バルブ制御による吸入空気量制御は、吸気バルブのリフト量を小さくすることによって、吸気通路をスロットルバルブで絞ることなく吸入空気量を少なくすることができるので、ポンピングロスを低減して燃費を向上させることができるとの利点がある。

【0006】

しかし、可変吸気バルブ制御による吸入空気量制御では、低負荷時に吸気バルブのリフト量が小さくなるため、各気筒で目標リフト量に対する実リフト量のばらつき（各気筒の部品公差や組付公差によるばらつき）の割合が大きくなつて、気筒間の吸入空気量ばらつきが大きくなる傾向がある。このため、気筒間の吸入空気量ばらつきの影響を受けて各気筒のトルクや空燃比が変動し易く、気筒間のトルクばらつきや空燃比ばらつきが大きくなる傾向がある。

【0007】**【特許文献1】**

特開昭62-17342号公報（第2頁等）

【特許文献2】

特開2000-220489号公報（第2頁～第3頁等）

【0008】**【発明が解決しようとする課題】**

ところで、上記特許文献1、2では、各気筒毎にトルクや空燃比を検出して、その検出結果に基づいて各気筒毎に燃料噴射量を補正することで、各気筒のトル

クばらつきや空燃比ばらつきを補正するようにしている。しかし、気筒間の吸入空気量ばらつきが大きくなると、単に燃料噴射量を補正するだけでは、各気筒のトルクばらつきや空燃比ばらつきを十分な精度で補正することは困難である。しかも、気筒間の吸入空気量ばらつきや吸入燃料量ばらつき等の複数の要因が絡み合って気筒間のトルクばらつきや空燃比ばらつきが発生している場合も、十分な精度で補正することは困難である。

【0009】

従って、気筒間のトルクばらつきや空燃比ばらつきを十分な精度で補正するためには、気筒間の吸入空気量ばらつきを補正する機能を持たせることが望ましいが、これを実現するためには、気筒間の吸入空気量ばらつきを精度良く検出する技術を開発する必要がある。

【0010】

そこで、本発明者らは、吸気管を流れる吸入空気量を検出するエアフローメータや、吸気管圧力を検出する吸気管圧力センサの出力を用いて気筒間の吸入空気量ばらつきを検出する技術を研究しているが、エアフローメータや吸気管圧力センサは、吸気脈動の反射波や他気筒の吸気干渉の影響を受ける吸気管集合部に設置されているため、エアフローメータや吸気管圧力センサの出力波形には、吸気脈動の反射波や他気筒の吸気干渉によるノイズ成分が含まれる。このため、運転領域によっては、反射波や吸気干渉の影響等でエアフローメータや吸気管圧力センサの出力波形が各気筒の吸入空気量のばらつきを精度良く反映した脈動波形とならず、気筒間の吸入空気量ばらつきを精度良く検出することができないことがあるという問題がある。

【0011】

また、実際の車両走行時には、運転状態が刻々と変化するため、運転領域によっては、エアフローメータや吸気管圧力センサの出力をサンプリングする時間（又はサンプリング回数）を十分に確保できないことがあり、これも、気筒間の吸入空気量ばらつきを精度良く検出できない原因となる。

【0012】

本発明はこれらの事情を考慮してなされたものであり、従ってその目的は、エ

アフローメータ等の検出手段の出力から各気筒の吸入空気量のばらつきを精度良く反映した情報を検出しにくいような運転領域に対しても、気筒間の吸入空気量ばらつき（気筒間ばらつき）を精度良く検出することができ、ほぼ全ての運転領域で気筒間ばらつきの検出精度を向上させることができる内燃機関の気筒間ばらつき検出装置を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明の請求項1の内燃機関の気筒間ばらつき検出装置は、複数の気筒を有する内燃機関の吸気管を流れる吸入空気量、吸気管圧力、筒内圧の少なくとも1つを検出手段を備え、所定のばらつき学習実行条件が成立する運転領域のときに、気筒間ばらつき学習手段によって、前記検出手段の出力に基づいて気筒間の吸入空気量ばらつき率又は気筒別吸入空気量を算出してその算出値を気筒間ばらつき学習値として学習し、ばらつき学習実行条件が成立しない運転領域のときには、気筒間ばらつき推定手段によって、前記気筒間ばらつき学習値を用いてその時点の運転領域に応じた気筒間吸入空気量ばらつき率又は気筒別吸入空気量を推定するようにしたのである。

【0014】

このようにすれば、ばらつき学習実行条件が成立してエアフローメータ等の検出手段の出力から各気筒の吸入空気量ばらつきを精度良く反映した情報が得られる運転領域のときに、気筒間ばらつき学習値を精度良く学習し、それ以外の運転領域では、上記精度の良い気筒間ばらつき学習値を用いてその時点の運転領域に応じた気筒間吸入空気量ばらつき率又は気筒別吸入空気量を推定するので、検出手段の出力波形が各気筒の吸入空気量のばらつきを精度良く反映した脈動波形にならない運転領域や、検出手段の出力をサンプリングする時間（又はサンプリング回数）を十分に確保できない運転領域に対しても、気筒間吸入空気量ばらつき率又は気筒別吸入空気量を比較的精度良く算出することができる。これにより、ほぼ全ての運転領域で気筒間ばらつきの検出精度を向上させることができる。

【0015】

この場合、請求項2のように、ばらつき学習実行条件は、燃料カット時及び／

又はクランクキング時に成立するようにしても良い。燃料カット時やクランクキング時には、筒内で燃焼が発生しておらず、燃焼による回転変動の影響を受けないため、エアフローメータ等の検出手段の出力波形が各気筒の吸入空気量のばらつきを精度良く反映した脈動波形となり、気筒間ばらつき学習値を精度良く学習することができる。

【0016】

或は、請求項3のように、ばらつき学習実行条件は、減速運転時に成立するようにしても良い。例えば、吸気バルブのリフト量を可変して吸入空気量を制御するシステムでは、減速運転時に、吸気バルブのリフト量が小さくなつて、各気筒で目標リフト量に対する実リフト量のばらつきの割合が大きくなり、各気筒の吸入空気量のばらつきが大きくなるため、減速運転時には、気筒間ばらつき学習値を精度良く学習できる状態となる。しかも、減速運転時には、吸気バルブ、排気バルブ、スロットルバルブ等のバルブ動作条件を気筒間ばらつき学習に適したバルブ動作条件に変更しても、それに伴つて発生するトルク変動等が運転者に気付かれ難いという利点もある。

【0017】

更に、請求項4のように、ばらつき学習実行条件は、機関回転速度が所定回転速度以下で且つ吸入空気量が所定量以上のときに成立するようにしても良い。機関回転速度が低くなるほど、1サイクルの時間が長くなつて、検出手段の出力をサンプリングする時間（又はサンプリング回数）を増やすことができる。また、吸入空気量が多いときには、吸気脈動の振幅が大きくなつて、気筒間ばらつき学習に用いる吸気脈動の特性値（極大値、極小値、面積等）を判別し易くなる。これらの理由から、機関回転速度が低く且つ吸入空気量が多い運転領域では、気筒間ばらつき学習値を精度良く学習できる状態となる。

【0018】

ところで、ばらつき学習実行条件が成立したときに、吸気バルブ、排気バルブ、スロットルバルブのバルブ動作条件が、必ずしも、気筒間ばらつき学習に適した動作条件になつてゐるとは限らない。

【0019】

そこで、請求項5のように、ばらつき学習実行条件が成立する運転領域のときに、吸気バルブ、排気バルブ、スロットルバルブのうちの少なくとも1つのバルブ動作条件を所定の学習時バルブ動作条件に変更して気筒間ばらつき学習値を学習するようにしても良い。このようにすれば、吸気バルブ、排気バルブ、スロットルバルブのバルブ動作条件を気筒間ばらつき学習値の学習に適した学習時バルブ動作条件に変更した状態で、気筒間ばらつき学習値を学習することができ、気筒間ばらつき学習値の学習精度を高めることができる。

【0020】

具体的には、請求項6のように、ばらつき学習実行条件が成立する運転領域のときに、スロットルバルブの開度を全開又は吸気管圧力が大気圧付近となる開度に変更して気筒間ばらつき学習値を学習するようにしても良い。このようにすれば、気筒間ばらつき学習の実行中に、スロットルバルブの上流側に配置されたエアフローメータや吸気管圧力センサ等の検出手段で検出する吸気脈動の振幅を大きくすることができ、気筒間ばらつき学習に用いる吸気脈動の特性値（極大値、極小値、面積等）を判別し易くなるため、気筒間ばらつき学習値の学習精度を高めることができる。

【0021】

また、請求項7のように、ばらつき学習実行条件が成立する運転領域のときに、吸気バルブのリフト量を所定リフト量以下又は最小値に変更して気筒間ばらつき学習値を学習するようにしても良い。このようにすれば、気筒間ばらつき学習の実行中に、吸気バルブのリフト量が小さくなつて、各気筒で目標リフト量に対する実リフト量のばらつきの割合が大きくなるため、各気筒の吸入空気量ばらつきが大きくなつて、気筒間ばらつき学習値の学習精度を高めることができる。

【0022】

一般に、吸排気バルブのバルブオーバーラップ（吸排気バルブが両方とも開いている期間）が存在すると、気筒内の燃焼ガスが吸気管へ吹き返す現象が発生する。また、吸気バルブが上死点よりも前（排気行程の途中）に開いたり、下死点よりも後（圧縮行程の途中）に閉じたりすると、吸気バルブが開いた状態でピストンが上昇するため、燃焼ガスや吸入空気の吹き返しが発生する。このような燃

燃ガスや吸入空気の吹き返しが発生すると、その影響で吸気脈動に乱れが生じるため、気筒間ばらつき学習値の学習精度が低下するおそれがある。

【0023】

この対策として、請求項8のように、ばらつき学習実行条件が成立する運転領域のときに、吸排気バルブのバルブタイミングをバルブオーバーラップがなく且つ吸気バルブの開弁期間が上死点から下死点までの間に収まるように変更して気筒間ばらつき学習値を学習するようにしても良い。このようにすれば、気筒間ばらつき学習の実行中に、燃焼ガスや吸入空気の吹き返しを無くすことができて、燃焼ガスや吸入空気の吹き返しによる吸気脈動の乱れを防止することができ、気筒間ばらつき学習値の学習精度を高めることができる。

【0024】

また、本発明は、請求項9のように、可変吸気バルブ機構を制御して吸気バルブのリフト量を可変することで吸入空気量を制御するシステムに適用すると、大きな効果が得られる。つまり、可変吸気バルブ機構による吸入空気量制御では、気筒間の吸入空気量ばらつきが大きくなる傾向があり、気筒間の吸入空気量ばらつきを補正する機能を持たせることが望ましく、これを実現するために、気筒間の吸入空気量ばらつきを精度良く検出する必要があるため、本発明を適用する効果が大きい。

【0025】

この場合、請求項10のように、学習した気筒間ばらつき学習値と、該気筒間ばらつき学習値を学習したときの吸気バルブのリフト量と、現在の吸気バルブのリフト量とを用いて、現在の運転領域に応じた気筒間吸入空気量ばらつき率又は気筒別吸入空気量を推定するようにすると良い。可変吸気バルブ機構により吸入空気量制御を行うシステムでは、吸気バルブのリフト量に応じて、目標リフト量に対する実リフト量のばらつきの割合が変化して、気筒間の吸入空気量ばらつきが変化するため、吸気バルブのリフト量に応じて気筒間の吸入空気量ばらつきが変化する。従って、気筒間ばらつき学習値と、該気筒間ばらつき学習値を学習したときの吸気バルブのリフト量と、現在の吸気バルブのリフト量とを用いれば、現在の吸気バルブのリフト量に応じた気筒間吸入空気量ばらつき率又は気筒別吸

入空気量を精度良く推定することができる。

【0026】

また、請求項11、12のように、気筒間ばらつき学習値の学習が完了するまで可変吸気バルブ機構による吸入空気量制御を禁止してスロットルバルブにより吸入空気量を制御し、気筒間ばらつき学習値の学習が完了した後に可変吸気バルブ機構による吸入空気量制御を実行するようにしても良い。このようにすれば、気筒間ばらつき学習値の学習が完了するまでは、スロットルバルブによる吸入空気量制御によって吸入空気量の制御精度を確保することができ、気筒間ばらつき学習値の未学習によるドライバビリティ悪化や排気エミッション悪化を回避することができる。

【0027】

【発明の実施の形態】

《実施形態（1）》

以下、本発明の実施形態（1）を図1乃至図12に基づいて説明する。まず、図1に基づいてエンジン制御システム全体の概略構成を説明する。内燃機関である例えば4気筒のエンジン11は、第1気筒#1～第4気筒#4の4つの気筒を有し、このエンジン11の吸気管12の最上流部には、エアクリーナ13が設けられ、このエアクリーナ13の下流側に、吸入空気量を検出するエアフローメータ14（検出手段）が設けられている。このエアフローメータ14は、吸入空気の逆流も検出可能なエアフローメータが用いられている。エアフローメータ14の下流側には、DCモータ等によって開度調節されるスロットルバルブ15とスロットル開度を検出するスロットル開度センサ16とが設けられている。

【0028】

更に、スロットルバルブ15の下流側には、サージタンク17が設けられ、このサージタンク17には、吸気管圧力を検出する吸気管圧力センサ18（検出手段）が設けられている。また、サージタンク17には、エンジン11の各気筒に空気を導入する吸気マニホールド19が設けられ、各気筒の吸気マニホールド19の吸気ポート近傍に、それぞれ燃料を噴射する燃料噴射弁20が取り付けられている。また、エンジン11のシリンダヘッドには、各気筒毎に点火プラグ21

が取り付けられ、各点火プラグ21の火花放電によって筒内の混合気に着火される。

【0029】

また、エンジン11の吸気バルブ28と排気バルブ29には、それぞれバルブリフト量を可変する可変バルブリフト機構30, 31が設けられている。更に、吸気バルブ28と排気バルブ29に、それぞれバルブタイミング（開閉タイミング）を可変する可変バルブタイミング機構を設けるようにしても良い。尚、排気バルブ29には、可変バルブリフト機構31を設けずに、可変バルブタイミング機構のみを設けるようにしても良い。

【0030】

一方、エンジン11の排気管22には、排出ガス中のCO, HC, NO_x等を浄化する三元触媒等の触媒23が設けられ、この触媒23の上流側に、排出ガスの空燃比又はリッチ／リーン等を検出する排出ガスセンサ24（空燃比センサ、酸素センサ等）が設けられている。また、エンジン11のシリンダーブロックには、冷却水温を検出する冷却水温センサ25や、エンジン11のクランク軸が一定クランク角（例えば30°C A）回転する毎にパルス信号を出力するクランク角センサ26が取り付けられている。このクランク角センサ26の出力信号に基づいてクランク角やエンジン回転速度が検出される。

【0031】

これら各種センサの出力は、エンジン制御回路（以下「ECU」と表記する）27に入力される。このECU27は、マイクロコンピュータを主体として構成され、内蔵されたROM（記憶媒体）に記憶された各種のエンジン制御プログラムを実行することで、エンジン運転状態に応じて燃料噴射弁20の燃料噴射量や点火プラグ21の点火時期を制御する。

【0032】

次に、図2に基づいて吸気バルブ28の可変バルブリフト機構30の構成を説明する。尚、排気バルブ29の可変バルブリフト機構31は、吸気バルブ28の可変バルブリフト機構30と実質的に同一構成であるため、説明を省略する。

【0033】

図2に示すように、吸気バルブ28を駆動するためのカムシャフト32とロッカーアーム33との間に、リンクアーム34が設けられ、このリンクアーム34の上方に、ステッピングモータ等のモータ41で回動駆動されるコントロールシャフト35が設けられている。コントロールシャフト35には、偏心カム36が一体的に回動可能に設けられ、この偏心カム36の軸心に対して偏心した位置に、リンクアーム34が支持軸（図示せず）を介して搖動可能に支持されている。このリンクアーム34の中央部には、搖動カム38が設けられ、この搖動カム38の側面が、カムシャフト32に設けられたカム37の外周面に当接している。また、リンクアーム34の下端部には、押圧カム39が設けられ、この押圧カム39の下端面が、ロッカーアーム33の中央部に設けられたローラ40の上端面に当接している。

【0034】

これにより、カムシャフト32の回転によってカム37が回転すると、そのカム37の外周面形状に追従してリンクアーム34の搖動カム38が左右に移動して、リンクアーム34が左右に搖動する。リンクアーム34が左右に搖動すると、押圧カム39が左右に移動するため、押圧カム39の下端面形状に応じてロッカーアーム33のローラ40が上下に移動して、ロッカーアーム33が上下に搖動する。このロッカーアーム33の上下動によって吸気バルブ28が上下動するようになっている。

【0035】

一方、コントロールシャフト35の回転によって偏心カム36が回転すると、リンクアーム34の支持軸の位置が移動して、リンクアーム34の押圧カム39とロッカーアーム33のローラ40との初期の接触点位置が変化する。また、リンクアーム34の押圧カム39の下端面は、左側部分にロッカーアーム33の押圧量が0（吸気バルブ28のバルブリフト量が0）となるような曲率でベース曲面39aが形成され、このベース曲面39aから右方に向かうに従ってロッカーアーム33の押圧量が大きくなる（吸気バルブ28のバルブリフト量が大きくなる）ような曲率で押圧曲面39bが形成されている。

【0036】

吸気バルブ28のバルブリフト量を大きくする高リフトモードの場合には、コントロールシャフト35の回転によってリンクアーム34の押圧カム39とロッカーアーム33のローラ40との初期の接触点位置を右方に移動させる。これにより、カム37の回転によって押圧カム39が左右に移動したときに押圧カム39の下端面のうちローラ40に接触する区間が右方に移動するため、ロッカーアーム33の最大押圧量が大きくなつて吸気バルブ28の最大バルブリフト量が大きくなると共に、ロッカーアーム33が押圧される期間が長くなつて吸気バルブ28の開弁期間が長くなる。

【0037】

一方、吸気バルブ28のバルブリフト量を小さくする低リフトモードの場合には、コントロールシャフト35の回転によってリンクアーム34の押圧カム39とロッカーアーム33のローラ40との初期の接触点位置を左方に移動させる。これにより、カム37の回転によって押圧カム39が左右に移動したときに押圧カム39の下端面のうちローラ40に接触する区間が左方に移動するため、ロッカーアーム33の最大押圧量が小さくなつて吸気バルブ28の最大バルブリフト量が小さくなると共に、ロッカーアーム33が押圧される期間が短くなつて吸気バルブ28の開弁期間が短くなる。

【0038】

以上説明した可変バルブリフト機構30では、モータ41でコントロールシャフト35を回転させてリンクアーム34の押圧カム39とロッカーアーム33のローラ40との初期の接触点位置を連続的に移動させれば、全気筒（#1～#4）の吸気バルブ28の最大バルブリフト量と開弁期間（以下単に「吸気バルブリフト量」という）を一括して連続的に可変することができる。

【0039】

ECU27は、ROMに記憶された可変バルブ制御プログラム（図示せず）を実行することで、アクセル開度やエンジン運転状態等に基づいて吸気バルブ28の可変バルブリフト機構30を制御して、吸気バルブ28のバルブリフト量を連続的に可変して吸入空気量を制御する。尚、可変バルブリフト機構30と可変バルブタイミング機構を併用したシステムの場合には、バルブリフト量とバルブタ

イミングの両方を連続的に可変して吸入空気量を制御するようにしても良い。

【0040】

また、ECU27は、後述する気筒間ばらつき補正用の各ルーチンを実行することで、エアフローメータ14の出力に基づいて気筒間の吸入空気量ばらつき率DEVを算出し、所定のばらつき学習実行条件が成立する運転領域のときに算出した気筒間吸入空気量ばらつき率DEVを気筒間ばらつき学習値GDEVとして学習する。そして、ばらつき学習実行条件が成立しない運転領域のときに、上記気筒間ばらつき学習値GDEVを用いてその時点の運転領域に応じた気筒間吸入空気量ばらつき率DEVを算出し、この気筒間吸入空気量ばらつき率DEVに基づいて吸気バルブリフト量VVLを補正して、気筒間の吸入空気量のばらつきを補正する。

【0041】

以下、本実施形態（1）でECU27が実行する気筒間ばらつき補正用の各ルーチンの処理内容を説明する。

【0042】

[気筒間ばらつき算出ベースルーチン]

図3に示す気筒間ばらつき算出ベースルーチンは、エアフローメータ14の出力電圧のA/D変換タイミング（例えば4ms周期）で起動される。本ルーチンが起動されると、まず、ステップ101で、エアフローメータ14のフィルタ処理後の出力電圧VAFMを読み込んだ後、ステップ102に進み、図4の瞬時空気流量GAFMマップを用いて、エアフローメータ14の出力電圧VAFMを、エアフローメータ14を通過する瞬時空気流量GAFMに変換する。尚、図4の瞬時空気流量GAFMマップは、エアフローメータ14が逆流も検出できる場合のマップであり、逆流の場合は、瞬時空気流量GAFMがマイナス値となる。

【0043】

この後、ステップ103に進み、クランク角カウンタCCRNKのカウント値を読み込む。このクランク角カウンタCCRNKは、クランク角センサ26の出力信号に基づいて例えば30°C/A毎に「1」ずつインクリメントされるため、クランク角カウンタCCRNKの24カウントが1サイクル（720°C/A）に相当

する。尚、クランク角カウンタCCR NKは、「24」になった時点で「0」にリセットされる。また、クランク角カウンタCCR NK=0のクランク回転位置が、第1気筒#1の圧縮上死点(圧縮TDC)に相当し、クランク角カウンタCCR NK=6、12、18のクランク回転位置が、それぞれ第3気筒#3、第4気筒#4、第2気筒#2の圧縮TDCに相当するように設定されている。

【0044】

そして、次のステップ104で、図6に示す各気筒の瞬時空気流量極大値算出ルーチンを実行して、各気筒の吸気行程に対応する期間の瞬時空気流量GAFMの極大値GAP EAK(#i)を算出する。ここで、(#i)は気筒番号であり、(#1)～(#4)のいずれかを意味する。

【0045】

この後、ステップ105に進み、図7に示す気筒間吸入空気量ばらつき率算出ルーチンを実行して、各気筒の瞬時空気流量極大値GAP EAK(#i)に基づいて気筒間吸入空気量ばらつき率DEV(#i)を算出する。

【0046】

この後、ステップ106に進み、ばらつき学習実行条件が成立しているか否かを判定する。ここで、ばらつき学習実行条件は、例えば、次の①と②の条件を両方とも満たすことである。

①燃料カット時、クランキング時、減速運転時(例えばブレーキ作動時又はアクセルオフ時)のいずれかであること

②エンジン回転速度NEが所定回転速度(例えば2000rpm)以下で、且つ、吸入空気量GAが所定量(例えばアイドル運転時の吸入空気量相当値)以上であること

【0047】

この場合、上記①の条件は、次のような理由で設定されている。燃料カット時やクランキング時には、筒内で燃焼が発生しておらず、燃焼による回転変動の影響を受けないため、エアフローメータ14の出力波形が各気筒の吸入空気量のばらつきを精度良く反映した脈動波形となり、気筒間吸入空気量ばらつき率DEV(#i)を精度良く算出して学習することができる。また、吸気バルブリフト量を

可変して吸入空気量を制御するシステムでは、減速運転時に、吸気バルブリフト量が小さくなつて、各気筒で目標リフト量に対する実リフト量のばらつきの割合が大きくなるため、各気筒の吸入空気量のばらつきが大きくなつて、気筒間吸入空気量ばらつき率D E V(#i)を精度良く算出して学習することができる。

【0048】

また、上記②の条件は、次のような理由で設定されている。エンジン回転速度N Eが低くなるほど、1サイクルの時間が長くなつて、エアフローメータ14の出力をサンプリングする時間（又はサンプリング回数）を増やすことができる。また、吸入空気量G Aが多いときには、吸気脈動の振幅が大きくなつて、気筒間吸入空気量ばらつき率D E V(#i)の算出に用いる吸気脈動の特性値（極大値、極小値、面積等）を判別し易くなる。これらの理由から、エンジン回転速度N Eが低く、且つ、吸入空気量G Aが多い運転領域では、気筒間吸入空気量ばらつき率D E V(#i)を精度良く学習できる状態となる。

【0049】

上記①と②の条件を両方とも満たせば、ばらつき学習実行条件が成立するが、上記①と②の条件のうちいずれか1つでも満たさない条件があれば、ばらつき学習実行条件が不成立となる。

【0050】

ばらつき学習実行条件が成立していると判定された場合には、ステップ107に進み、ばらつき学習実行条件が成立する運転領域のときに算出した気筒間吸入空気量ばらつき率D E V(#i)を気筒間ばらつき学習値G D E V(#i)として学習（記憶）する。以上説明したステップ105～107の処理が特許請求の範囲でいう気筒間ばらつき学習手段としての役割を果たす。

【0051】

この後、ステップ108に進み、気筒間ばらつき学習値G D E V(#i)を学習したときの平均吸気バルブリフト量V L Lを基準吸気バルブリフト量G V V Lとして学習する。この場合、平均吸気バルブリフト量V L Lは、例えば、可変バルブリフト機構30の駆動モータ41の回転位置等から算出すれば良い。

【0052】

この後、ステップ109に進み、気筒間ばらつき学習完了フラグGXVVLを、気筒間ばらつき学習完了を意味する「ON」にセットして、本ルーチンを終了する。

【0053】

一方、上記ステップ106で、ばらつき学習実行条件が不成立である判定された場合には、ステップ110に進み、気筒間ばらつき学習値GDEV(#i)の学習が完了しているか否か（気筒間ばらつき学習完了フラグGXVVL=ONか否か）を判定する。もし、気筒間ばらつき学習が完了していなければ、そのまま本ルーチンを終了する。

【0054】

一方、気筒間ばらつき学習値GDEV(#i)の学習が完了したと判定された場合には、ステップ111に進み、図5に示す気筒間吸入空気量ばらつき率DEV(#i)のマップを用いて、気筒間ばらつき学習値GDEV(#i)と、現在の平均吸気バルブリフト量VLLと基準吸気バルブリフト量GVVLとの比(VVL/GVV)を用いて、現在の平均吸気バルブリフト量VLLに応じた気筒間吸入空気量ばらつき率DEV(#i)を算出する。この場合は、前記ステップ105で算出した気筒間吸入空気量ばらつき率DEV(#i)の記憶値がステップ111で算出した推定値に書き替えられる。このステップ111の処理が特許請求の範囲でいう気筒間ばらつき推定手段としての役割を果たす。

【0055】

尚、気筒間吸入空気量ばらつき率DEV(#i)に、エアフローメータ14で検出した吸入空気量GA（平均空気流量）を乗算すれば、気筒別吸入空気量を求めることができる。

【0056】

以上説明した本ルーチンでは、ステップ105で、全ての運転領域で気筒間吸入空気量ばらつき率DEV(#i)を算出するようにしたが、このステップ105の処理をステップ106で「Yes」と判定されたときに実行するように変更しても良い。この場合は、ばらつき学習実行条件が成立する運転領域のときのみ、気筒間吸入空気量ばらつき率DEV(#i)を算出し、その算出値を気筒間ばらつき学

習値G D E V (#i)として学習する。

【0057】

[各気筒の瞬時空気流量極大値算出ルーチン]

図3のステップ104で図6の各気筒の瞬時空気流量極大値算出ルーチンが起動されると、まず、ステップ201で、エアフローメータ14で検出した瞬時空気流量G A F Mが極大値であるか否かを判定する。この極大値の判定方法は、例えば瞬時空気流量G A F Mの今回値を前回値と比較して、瞬時空気流量G A F Mの変化方向が増加から減少に反転したか否かによって判定すれば良い。

【0058】

このステップ201で、瞬時空気流量G A F Mが極大値でないと判定されれば、以降の処理を行うことなく、本ルーチンを終了する。その後、瞬時空気流量G A F Mが極大値になった時点で、ステップ202に進み、クランク角カウンタC C R N K = 12～17の期間（つまり第1気筒#1の吸気行程に対応する期間）であるか否かを判定し、C C R N K = 12～17であれば、ステップ203に進み、第1気筒#1の吸気行程に対応する期間の瞬時空気流量G A F Mの極大値を、第1気筒#1の瞬時空気流量極大値G A P E A K (#1)とする。

【0059】

上記ステップ202で「No」と判定されて、ステップ204で、クランク角カウンタC C R N K = 6～11の期間（つまり第2気筒#2の吸気行程に対応する期間）であると判定されれば、ステップ205に進み、第2気筒#2の吸気行程に対応する期間の瞬時空気流量G A F Mの極大値を、第2気筒#2の瞬時空気流量極大値G A P E A K (#2)とする。

【0060】

上記ステップ202、204で「No」と判定されて、ステップ206で、クランク角カウンタC C R N K = 18～23の期間（つまり第3気筒#3の吸気行程に対応する期間）であると判定されれば、ステップ207に進み、第3気筒#3の吸気行程に対応する期間の瞬時空気流量G A F Mの極大値を、第3気筒#3の瞬時空気流量極大値G A P E A K (#3)とする。

【0061】

上記ステップ202、204、206で全て「No」と判定された場合、つまり、クランク角カウンタCCRNK=0～5の期間（第4気筒#4の吸気行程に対応する期間）である場合は、ステップ208に進み、第4気筒#4の吸気行程に対応する期間の瞬時空気流量GAFMの極大値を、第4気筒#4の瞬時空気流量極大値GAPAK(#4)とする。

【0062】

図12に示すように、エアフローメータ14の出力（瞬時空気流量GAFM）は、各気筒の吸入空気量を反映した脈動波形となる。従って、各気筒の吸気行程に対応する期間毎にエアフローメータ14で検出した瞬時空気流量GAFMの特性値（極大値、極小値、平均値、振幅値、面積、軌跡長等）を算出すれば、各気筒の吸入空気量を反映した脈動波形の特性値を算出することができるので、この特性値を用いれば、各気筒の吸入空気量のばらつきを反映した気筒間の吸入空気量ばらつき率を算出することができる。

【0063】

[気筒間吸入空気量ばらつき率算出ルーチン]

図7に示す気筒間吸入空気量ばらつき率算出ルーチン（図3のステップ105）は、行程毎（4気筒エンジンの場合は180°C A毎）に実行される。本ルーチンが起動されると、まず、ステップ301で、各気筒の瞬時空気流量極大値GAPAK(#i)を読み込み、次のステップ302で、各気筒の瞬時空気流量極大値GAPAK(#i)を気筒間でなまし処理して、各気筒の瞬時空気流量極大値のなまし値GAPAKSM(#i)を求める。

$$\begin{aligned} \text{GAPAKSM}(\#i) &= \text{GAPAKSM}(\#i-1) \\ &+ K1 \times \{ \text{GAPAK}(\#i) - \text{GAPAKSM}(\#i-1) \} \end{aligned}$$

【0064】

ここで、K1は、なまし係数であり、GAPAKSM(#i-1)は、(#i-1)番の気筒の瞬時空気流量極大値のなまし値である。

この後、ステップ303に進み、各気筒の気筒間吸入空気量ばらつき率DEV(#i)を次式により算出する。

【0065】

【数1】

$$DEV(\#i) = \frac{GAPEAKSM(\#i)}{\sum_{i=1}^4 GAPEAKSM(\#i) / 4} \times K2$$

(K2 : 補正係数)

【0066】

上式の分母は、全気筒の瞬時空気流量極大値のなまし値GAPEAKSM(\#i)の平均値であり、K2は、瞬時空気流量極大値のばらつきを吸入空気量のばらつきに変換するための補正係数である。

【0067】

上記【数1】式から明らかなように、各気筒の気筒間吸入空気量ばらつき率DEV(\#i)は、各気筒の気筒間吸入空気量ばらつき率なまし値GAPEAKSM(\#i)を全気筒の気筒間吸入空気量ばらつき率なまし値の平均値で割り算して、それに補正係数K2を乗算した値である。

【0068】

[気筒間ばらつき補正ルーチン]

図8に示す気筒間ばらつき補正ルーチンは、エンジン運転中に所定周期で実行される。本ルーチンが起動されると、まず、ステップ401で、気筒間ばらつき学習値GDEV(\#i)の学習が完了しているか否か（気筒間ばらつき学習完了フラグGXVVL=ONか否か）を判定する。もし、気筒間ばらつき学習が完了していないければ、ステップ402以降の気筒間ばらつき補正に関する処理を実行することなく、本ルーチンを終了する。

【0069】

一方、上記ステップ401で、気筒間ばらつき学習が完了していると判定された場合には、ステップ402以降の気筒間ばらつき補正に関する処理を次のようにして実行する。まず、ステップ402で、図3の気筒間ばらつき算出ベースルーチンよって最終的に決定された気筒間吸入空気量ばらつき率DEV(\#i)を読み

込む。

【0070】

この後、ステップ403に進み、各気筒毎に気筒間吸入空気量ばらつき率D E V (#i)に応じた基本リフト補正量F V V L 1 (#i)を図9のマップを用いて算出する。図9のマップは、気筒間吸入空気量ばらつき率D E V (#i)がプラス値となる領域では、基本リフト補正量F V V L 1 (#i)が減量値（マイナス値）となり、気筒間吸入空気量ばらつき率D E V (#i)がマイナス値となる領域では、基本リフト補正量F V V L 1 (#i)が增量値（プラス値）となる。つまり、ある気筒の吸入空気量が全気筒の平均吸入空気量よりも多くなるほど、基本リフト補正量F V V L 1 (#i)による減量補正量が大きくなり、反対に、ある気筒の吸入空気量が全気筒の平均吸入空気量よりも少なくなるほど、基本リフト補正量F V V L 1 (#i)による增量補正量が大きくなる。尚、気筒間吸入空気量ばらつき率D E V (#i)が0付近の所定領域では、基本リフト補正量F V V L 1 (#i)=0に設定され、吸気バルブリフト量V V L が補正されない。

【0071】

そして、次のステップ404で、エンジン回転速度N Eとエアフローメータ14で検出した吸入空気量G A（平均空気流量）を読み込んだ後、ステップ405に進み、図10に示す補正係数F V V L 2のマップを検索して、各気筒毎に現在のエンジン運転条件（例えばエンジン回転速度N Eと吸入空気量G A）に応じた補正係数F V V L 2 (#i)を算出する。

【0072】

一般に、吸入空気量G Aが少なくなると（吸気バルブリフト量が小さくなると）、吸気バルブリフト量補正の影響を受けやすくなるため、図10の補正係数F V V L 2のマップは、吸入空気量G Aが少なくなるほど、補正係数F V V L 2が小さくなるように設定されている。

【0073】

この後、ステップ406に進み、各気筒の基本リフト補正量F V V L 1 (#i)に補正係数F V V L 2 (#i)を乗算して、各気筒のリフト補正量F V V L (#i)を求める。

$$F_{VVL}(\#i) = F_{VVL1}(\#i) \times F_{VVL2}(\#i)$$

この後、ステップ407に進み、補正前の全気筒の平均バルブリフト量VVLに各気筒のリフト補正量FVVL(<#i>)を加算して、最終目標バルブリフト量VVLMを求める。

【0074】

この場合、クランク角カウンタCCRNK=12～17の期間（つまり第1気筒#1の吸気行程に対応する期間）は、第1気筒#1のバルブリフト補正量FVVL(#1)を用いて、最終目標バルブリフト量VVLMを次式により算出する。

$$VVLM = VVL + FVVL(\#1)$$

【0075】

クランク角カウンタCCRNK=6～11の期間（つまり第2気筒#2の吸気行程に対応する期間）は、第2気筒#2のバルブリフト補正量FVVL(#2)を用いて、最終目標バルブリフト量VVLMを次式により算出する。

$$VVLM = VVL + FVVL(\#2)$$

【0076】

クランク角カウンタCCRNK=18～23の期間（つまり第3気筒#3の吸気行程に対応する期間）は、第3気筒#3のバルブリフト補正量FVVL(#3)を用いて、最終目標バルブリフト量VVLMを次式により算出する。

$$VVLM = VVL + FVVL(\#3)$$

【0077】

クランク角カウンタCCRNK=0～5の期間（つまり第4気筒#4の吸気行程に対応する期間）は、第4気筒#4のバルブリフト補正量FVVL(#4)を用いて、最終目標バルブリフト量VVLMを次式により算出する。

$$VVLM = VVL + FVVL(\#4)$$

【0078】

この後、ステップ408に進み、各気筒の吸気行程に対応して変化する各気筒の最終目標バルブリフト量VVLMに応じて吸気バルブ28の可変バルブリフト機構30のモータ41を高速駆動して、各気筒の吸気行程毎に吸気バルブリフト量を補正して各気筒の吸入空気量を補正する。これにより、気筒間の吸入空気量

ばらつきを補正する。

【0079】

以上説明した気筒間ばらつき補正ルーチンでは、気筒間ばらつき学習が完了する前は、気筒間ばらつき補正を実行しないようにしたが、気筒間ばらつき学習が完了する前は、図3のステップ105で算出した気筒間吸入空気量ばらつき率D E V(#i)を用いて気筒間ばらつき補正を実行するようにしても良い。

【0080】

尚、各気筒の吸気バルブ28を電磁アクチュエータで駆動する構成の可変バルブ機構に本発明を適用する場合には、各気筒の最終目標バルブリフト量V V L Mに応じて各気筒の電磁アクチュエータの制御量を補正することで、各気筒の吸気バルブリフト量を補正して各気筒の吸入空気量を補正するようにすれば良い。

【0081】

以上説明した本実施形態(1)の実行例を図11に示すタイムチャートを用いて説明する。気筒間ばらつき補正実行条件が成立して気筒間ばらつき補正実行フラグがONされている期間は、1サイクル毎にエアフローメータ14の出力(瞬時空気流量G A F M)に基づいて各気筒の気筒間吸入空気量ばらつき率D E V(#i)を算出し、ばらつき学習実行条件が成立してばらつき学習実行フラグがONされているときに算出した気筒間吸入空気量ばらつき率D E V(#i)を気筒間ばらつき学習値G D E V(#i)として学習すると共に、この気筒間ばらつき学習値G D E V(#i)を学習したときの平均吸気バルブリフト量V L Lを基準吸気バルブリフト量G V V Lとして学習する。

【0082】

そして、気筒間ばらつき学習値G D E V(#i)の学習が完了して気筒間ばらつき学習完了フラグG X V V LがONされた後、ばらつき学習実行条件が不成立となって気筒間ばらつき学習実行フラグがOFFされている期間は、気筒間ばらつき学習値G D E V(#i)と、現在の平均吸気バルブリフト量V L Lと基準吸気バルブリフト量G V V Lとの比(V V L/G V V L)を用いて、最終的な気筒間吸入空気量ばらつき率D E V(#i)を算出する。

【0083】

以上説明した本実施形態（1）によれば、ばらつき学習実行条件が成立して気筒間吸入空気量ばらつき率D E V (#i)の算出精度を確保できる運転領域のときに算出した気筒間吸入空気量ばらつき率D E V (#i)を気筒間ばらつき学習値G D E V (#i)として学習するようにしたので、気筒間ばらつき学習値G D E V (#i)を精度良く学習することができる。そして、ばらつき学習実行条件が成立しない運転領域のときには、上記精度の良い気筒間ばらつき学習値G D E V (#i)を用いてその時点の運転領域に応じた気筒間吸入空気量ばらつき率D E V (#i)を推定するので、エアフローメータ14の出力波形が各気筒の吸入空気量のばらつきを精度良く反映した脈動波形にならない運転領域や、エアフローメータ14の出力をサンプリングする時間（又はサンプリング回数）を十分に確保できない運転領域に対しても、気筒間吸入空気量ばらつき率D E V (#i)を比較的精度良く算出することができる。これにより、ほぼ全ての運転領域で気筒間ばらつきの検出精度を向上させることができるので、ほぼ全ての運転領域で気筒間の吸入空気量ばらつきを精度良く補正することができ、気筒間のトルクばらつきや空燃比ばらつきを両方とも低減することができる。

【0084】

《実施形態（2）》

ところで、ばらつき学習実行条件が成立したときに、吸気バルブ28、排気バルブ29、スロットルバルブ15のバルブ動作条件が、必ずしも、気筒間吸入空気量ばらつき率D E V の算出に適した動作条件になっているとは限らない。

【0085】

そこで、図13乃至図15に示す本発明の実施形態（2）では、ばらつき学習実行条件が成立する運転領域のときに、吸気バルブ28、排気バルブ29、スロットルバルブ15のバルブ動作条件を学習時バルブ動作条件に変更して、気筒間吸入空気量ばらつき率D E V を算出し、その算出値を気筒間ばらつき学習値G D E V として学習するようにしている。

【0086】

以下、この処理を実行する図13の気筒間ばらつき算出ベースルーチンの処理内容を説明する。本ルーチンが起動されると、前記実施形態（1）で説明した図

3のステップ101～104と同じ処理により、各気筒の吸気行程に対応する期間の瞬時空気流量GAFMの極大値GAPAK(#i)を算出した後、ステップ106に進み、前記実施形態(1)と同じ方法で、ばらつき学習実行条件が成立しているか否かを判定する。

【0087】

その結果、ばらつき学習実行条件が成立していると判定されれば、ステップ106aに進み、スロットル開度TAを学習時のスロットル開度KTAに変更する。この学習時のスロットル開度KTAは、全開又は吸気管圧力が大気圧付近となる開度に設定されている。これにより、スロットルバルブ15の上流側に配置されたエアフローメータ14で検出する吸気脈動の振幅を大きくすることができ、気筒間吸入空気量ばらつき率DEV(#i)の算出に用いる吸気脈動の特性値(例えば極大値)を判別し易くなるため、気筒間ばらつき学習値GDEV(#i)の学習に適した状態となる。

【0088】

この後、ステップ106bに進み、吸気バルブリフト量VVLを学習時の吸気バルブリフト量KVVLに変更する。この学習時の吸気バルブリフト量KVVLは、所定リフト量以下又は最小値に設定されている。これにより、吸気バルブリフト量VVLが小さくなつて、各気筒で目標リフト量に対する実リフト量のばらつきの割合が大きくなるため、各気筒の吸入空気量ばらつきが大きくなつて、気筒間ばらつき学習値GDEV(#i)の学習に適した状態となる。

【0089】

この後、ステップ106cに進み、吸気バルブタイミングINVVTを学習時の吸気バルブタイミングKINVVTに変更すると共に、排気バルブタイミングEXVVTを学習時の排気バルブタイミングKEXVVTに変更する。図14に示すように、学習時の吸気バルブタイミングKINVVTと学習時の排気バルブタイミングEXVVTは、吸気バルブ28と排気バルブ29のバルブオーバーラップがなく且つ吸気バルブ28の開弁期間が上死点(TDC)から下死点(BDC)までの間に収まるように設定されている。これにより、燃焼ガスや吸入空気の吹き返しを無くすことができるので、燃焼ガスや吸入空気の吹き返しによる吸

気脈動の乱れを防止することができ、気筒間ばらつき学習値G D E V (#i)の学習に適した状態となる。

【0090】

以上のようにしてスロットルバルブ15、吸気バルブ28、排気バルブ29のバルブ動作条件を学習時バルブ動作条件に変更した後、ステップ106dに進み、前記実施形態(1)で説明した図7の気筒間吸入空気量ばらつき率算出ルーチンを実行して、各気筒の瞬時空気流量極大値G A P E A K (#i)に基づいて気筒間吸入空気量ばらつき率D E V (#i)を算出する。この後、ステップ107に進み、上記ステップ106dで算出した気筒間吸入空気量ばらつき率D E V (#i)を気筒間ばらつき学習値G D E V (#i)として学習(記憶)する。その他の処理は、前記実施形態(1)で説明した図3の各ステップの処理と同じである。

【0091】

以上説明した本実施形態(2)では、図15のタイムチャートに示すように、ばらつき学習実行条件が成立してばらつき学習実行フラグがONされている期間は、スロットル開度T A、吸気バルブリフト量V V L、吸気バルブタイミングI N V V T、排気バルブタイミングE X V V Tを、それぞれ気筒間ばらつき学習に適した学習時バルブ動作条件(K T A、K V V L、K I N V V T、K E X V V T)に変更し、その状態のときに算出した気筒間吸入空気量ばらつき率D E V (#i)を気筒間ばらつき学習値G D E V (#i)として学習する。これにより、気筒間ばらつき学習値G D E V (#i)の学習精度を高めることができる。

【0092】

《実施形態(3)》

次に、図16及び図17を用いて本発明の実施形態(3)を説明する。本実施形態(3)では、図16に示す吸入空気量制御方式切換ルーチンを実行することで、気筒間ばらつき学習値G D E V (#i)の学習が完了するまで可変吸気バルブ制御による吸入空気量制御を禁止して、スロットルバルブ制御により吸入空気量を制御し、気筒間ばらつき学習値G D E V (#i)の学習が完了した後に可変吸気バルブ制御による吸入空気量制御を実行するようにしている。

【0093】

この処理を実行する図16の吸入空気量制御方式切換ルーチンは、所定周期（例えば4ms周期）で起動される。本ルーチンが起動されると、まず、ステップ501で、気筒間ばらつき学習値GDEV(#i)の学習が完了しているか否か（気筒間ばらつき学習完了フラグGXVVL=ONか否か）を判定する。もし、気筒間ばらつき学習が完了していないければ、ステップ502に進み、可変吸気バルブ制御による吸入空気量制御を禁止して、スロットルバルブ制御による吸入空気量制御を実行する。このスロットルバルブ制御による吸入空気量制御では、アクセル開度やエンジン運転状態等に基づいてスロットル開度TAを可変して吸入空気量を制御する。この場合、吸気バルブリフト量VVLは、所定値、例えば最大値（例えば10mm）に固定する。

【0094】

その後、上記ステップ501で、気筒間ばらつき学習値GDEV(#i)の学習が完了していると判定されたときに、ステップ503に進み、可変吸気バルブ制御による吸入空気量制御を実行する。この可変吸気バルブ制御による吸入空気量制御中は、気筒間ばらつき学習値GDEV(#i)を用いて推定した気筒間吸入空気量ばらつき率DEV(#i)に基づいて気筒間の吸入空気量ばらつきを補正しながら、アクセル開度やエンジン運転状態等に基づいて吸気バルブリフト量VVLを可変して吸入空気量を制御する。この場合、スロットル開度TAは、吸気脈動騒音低減等のために吸気管圧力PMを所定負圧（例えば-5kPa）に維持するように制御する。

【0095】

以上説明した本実施形態（3）では、図17のタイムチャートに示すように、気筒間ばらつき学習値GDEV(#i)の学習が完了する前（気筒間ばらつき学習完了フラグGXVVLがOFFのとき）は、可変吸気バルブ制御による吸入空気量制御を禁止して、スロットルバルブ制御により吸入空気量を制御する。このようにすれば、気筒間ばらつき学習値GDEV(#i)の学習が完了するまでは、スロットルバルブ制御による吸入空気量制御によって吸入空気量の制御精度を確保することができ、気筒間ばらつき学習値GDEV(#i)の未学習によるドライバビリティ悪化や排気エミッション悪化を回避することができる。

【0096】

その後、気筒間ばらつき学習値 G D E V (#i) の学習が完了して気筒間ばらつき学習完了フラグ G X V V L が ON された後に、可変吸気バルブ制御による吸入空気量制御を開始する。このようにすれば、気筒間ばらつき学習値 G D E V (#i) を用いてほぼ全運転領域の気筒間吸入空気量ばらつき率 D E V (#i) を精度良く推定できる状態になった後に、推定した気筒間吸入空気量ばらつき率 D E V (#i) を用いて気筒間の吸入空気量ばらつきを精度良く補正しながら、可変吸気バルブ制御による吸入空気量制御を実行することができ、可変吸気バルブ制御による吸入空気量制御を精度良く実行することができる。

【0097】

《実施形態（4）》

上記実施形態（1）～（3）では、エアフローメータ 14 で検出した瞬時空気流量 G A F M を用いて気筒間吸入空気量ばらつき率 D E V (#i) を算出するようにしたが、図 18 及び図 19 に示す本発明の実施形態（4）では、吸気管圧力センサ 18（検出手段）で検出した瞬時吸気管圧力 P M A P を用いて気筒間吸入空気量ばらつき率 D E V (#i) を算出するようにしている。

【0098】

エンジン運転中は、図 19 に示すように、エアフローメータ 14 の出力（瞬時空気流量 G A F M）の脈動に同期して吸気管圧力センサ 18 の出力（瞬時吸気管圧力 P M A P）が脈動し、エアフローメータ 14 の出力（瞬時空気流量 G A F M）が極大になるときに吸気管圧力センサ 18 の出力（瞬時吸気管圧力 P M A P）が極小となる。

【0099】

そこで、本実施形態（4）では、図 18 に示す各気筒の瞬時吸気管圧力極小値算出ルーチンを実行して、各気筒の吸気行程に対応する期間の瞬時吸気管圧力極小値 P M P E A K (#i) を求め、この瞬時吸気管圧力極小値 P M P E A K (#i) を用いて気筒間吸入空気量ばらつき率 D E V (#i) を算出する。

【0100】

図 18 に示す各気筒の瞬時吸気管圧力極小値算出ルーチンは、吸気管圧力セン

サ 1 8 の出力の A/D 変換タイミング（例えば 4 ms 周期）で起動される。本ルーチンが起動されると、まず、ステップ 601 で、吸気管圧力センサ 18 で検出した瞬時吸気管圧力 PMAP が極小値であるか否かを判定する。この極小値の判定方法は、例えば瞬時吸気管圧力 PMAP の今回値を前回値と比較して、瞬時吸気管圧力 PMAP の変化方向が減少から増加に反転したか否かによって判定すれば良い。

【0101】

このステップ 601 で、瞬時吸気管圧力 PMAP が極小値であると判定されたときに、ステップ 602 に進み、クランク角カウンタ CCRNK = 12 ~ 17 の期間（つまり第 1 気筒 #1 の吸気行程に対応する期間）であるか否かを判定し、CCR NK = 12 ~ 17 であれば、ステップ 603 に進み、第 1 気筒 #1 の吸気行程に対応する期間の瞬時吸気管圧力 PMAP の極小値を、第 1 気筒 #1 の瞬時吸気管圧力極小値 PMP EAK (#1) とする。

【0102】

上記ステップ 602 で「No」と判定されて、ステップ 604 で、クランク角カウンタ CCRNK = 6 ~ 11 の期間（つまり第 2 気筒 #2 の吸気行程に対応する期間）であると判定されれば、ステップ 605 に進み、第 2 気筒 #2 の吸気行程に対応する期間の瞬時吸気管圧力 PMAP の極小値を、第 2 気筒 #2 の瞬時吸気管圧力極小値 PMP EAK (#2) とする。

【0103】

上記ステップ 602、604 で「No」と判定されて、ステップ 606 で、クランク角カウンタ CCRNK = 18 ~ 23 の期間（つまり第 3 気筒 #3 の吸気行程に対応する期間）であると判定されれば、ステップ 607 に進み、第 3 気筒 #3 の吸気行程に対応する期間の瞬時吸気管圧力 PMAP の極小値を、第 3 気筒 #3 の瞬時吸気管圧力極小値 PMP EAK (#3) とする。

【0104】

上記ステップ 602、604、606 で全て「No」と判定された場合、つまり、クランク角カウンタ CCRNK = 0 ~ 5 の期間（第 4 気筒 #4 の吸気行程に対応する期間）である場合は、ステップ 608 に進み、第 4 気筒 #4 の吸気行程

に対応する期間の瞬時吸気管圧力P M A Pの極小値を、第4気筒#4の瞬時吸気管圧力極小値P M P E A K(#4)とする。

【0105】

このようにして求めた各気筒の瞬時吸気管圧力極小値P M P E A K(#i)を用いて、前記実施形態(1)で説明した気筒間吸入空気量ばらつき率の算出方法(図7参照)と同じ方法で各気筒の気筒間吸入空気量ばらつき率D E V(#i)を算出する。

以上説明した本実施形態(4)でも、気筒間吸入空気量ばらつき率D E V(#i)を精度良く算出することができる。

【0106】

《実施形態(5)》

図20に示す本発明の実施形態(5)では、気筒内に吸入される吸入空気量が多くなるほど、筒内圧が大きくなるという特性に着目して、各気筒の筒内圧を検出して、各気筒の圧縮T D C前後の期間の筒内圧の極大値を求めるようにしている。これを実現するために、本実施形態(5)では、各気筒毎に、筒内圧を検出する筒内圧センサ(検出手段)が設けられている。尚、筒内圧センサは、点火プラグ21に組み込まれたものを用いても良いし、点火プラグ21とは別に設けても良い。

【0107】

本実施形態(7)では、図20に示す各気筒の筒内圧極大値算出ルーチンを筒内圧センサのA/D変換タイミング(例えば4ms周期)で実行する。本ルーチンが起動されると、まず、ステップ701で、筒内圧センサで検出した筒内圧C P Sが極大値であるか否かを判定する。この極大値の判定方法は、例えば筒内圧C P Sの今回値を前回値と比較して、筒内圧C P Sの変化方向が増加から減少に反転したか否かによって判定すれば良い。

【0108】

このステップ701で、筒内圧C P Sが極大値であると判定されたときに、ステップ702に進み、クランク角カウンタC C R N K=22~3の期間(つまり第1気筒#1の圧縮T D Cの前後90°C A以内の期間)であるか否かを判定し、

CCR NK = 22～3であれば、ステップ703に進み、第1気筒#1の圧縮TDCの前後90°C A以内の期間の筒内圧CPSの極大値を、第1気筒#1の筒内圧極大値CPSPEAK(#1)とする。

【0109】

上記ステップ702で「No」と判定されて、ステップ704で、クランク角カウンタCCR NK = 16～21の期間（つまり第2気筒#2の圧縮TDCの前後90°C A以内の期間）であると判定されれば、ステップ705に進み、第2気筒#2の圧縮TDCの前後90°C A以内の期間の筒内圧CPSの極大値を、第2気筒#2の筒内圧極大値CPSPEAK(#2)とする。

【0110】

上記ステップ702、704で「No」と判定されて、ステップ706で、クランク角カウンタCCR NK = 4～9の期間（つまり第3気筒#3の圧縮TDCの前後90°C A以内の期間）であると判定されれば、ステップ707に進み、第3気筒#3の圧縮TDCの前後90°C A以内の期間の筒内圧CPSの極大値を、第3気筒#3の筒内圧極大値CPSPEAK(#3)とする。

【0111】

上記ステップ702、704、706で全て「No」と判定された場合、つまり、クランク角カウンタCCR NK = 10～15の期間（第4気筒#4の圧縮TDCの前後90°C A以内の期間）である場合は、ステップ708に進み、第4気筒#4の圧縮TDCの前後90°C A以内の期間の筒内圧CPSの極大値を、第4気筒#4の筒内圧極大値CPSPEAK(#4)とする。

【0112】

このようにして求めた各気筒の筒内圧極大値CPSPEAK(#i)を用いて、前記実施形態（1）で説明した気筒間吸入空気量ばらつき率の算出方法（図7参照）と同じ方法で各気筒の気筒間吸入空気量ばらつき率DEV(#i)を算出する。

【0113】

以上説明した本実施形態（5）でも、気筒間吸入空気量ばらつき率DEV(#i)を精度良く算出することができる。

尚、気筒間ばらつき率の算出方法は適宜変更しても良く、要は、吸入空気量、

吸気管圧力、筒内圧力の所定期間毎の極大値、極小値、平均値、振幅値、面積、軌跡長等のうちの少なくとも1つに基づいて気筒間ばらつき値を算出するようにしても良い。

【0114】

また、上記各実施形態（1）～（5）では、可変吸気バルブ制御による吸入空気量制御を行うシステムに本発明を適用したが、スロットルバルブ制御による吸入空気量制御のみを行うシステムに本発明を適用しても良い。スロットルバルブ制御による吸入空気量制御のみを行うシステムでは、スロットルバルブを全開又は大きく開いた高負荷領域で、吸気脈動の振幅が大きくなつて、吸気脈動の特性値（極大値、極小値、面積等）を判別し易くなるため、この高負荷領域で、気筒間ばらつき学習値を学習するようにすると良い。

【0115】

また、本発明の適用範囲は4気筒のエンジンに限定されず、5気筒以上又は3気筒以下の複数気筒エンジンに本発明を適用しても良い。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の実施形態（1）におけるエンジン制御システム全体の概略構成図

【図2】

可変バルブリフト機構の正面図

【図3】

実施形態（1）の気筒間ばらつき算出ベースルーチンの処理の流れを示すフローチャート

【図4】

エアフローメータの出力電圧V A F Mを瞬時空気流量G A F Mに変換するマップを概念的に示す図

【図5】

気筒間吸入空気量ばらつき率D E Vのマップを概念的に示す図

【図6】

実施形態（1）の各気筒の瞬時空気流量極大値算出ルーチンの処理の流れを示すフローチャート

すフローチャート

【図7】

実施形態（1）の気筒間吸入空気量ばらつき率算出ルーチンの処理の流れを示すフローチャート

【図8】

実施形態（1）の気筒間ばらつき補正ルーチンの処理の流れを示すフローチャート

【図9】

基本リフト補正量F V V L 1のマップを概念的に示す図

【図10】

補正係数F V V L 2のマップを概念的に示す図

【図11】

実施形態（1）の実行例を示すタイムチャート

【図12】

エアフローメータの出力の挙動を示すタイムチャート

【図13】

実施形態（2）の気筒間ばらつき算出ベースルーチンの処理の流れの一部を示すフローチャート

【図14】

学習時の吸気バルブタイミング進角位置と学習時の排気バルブタイミング進角位置を説明するためのバルブ特性図

【図15】

実施形態（2）の実行例を示すタイムチャート

【図16】

実施形態（3）の吸入空気量制御方式切換ルーチンの処理の流れを示すフローチャート

【図17】

実施形態（3）の実行例を示すタイムチャート

【図18】

実施形態（4）の各気筒の瞬時吸気管圧力極小値算出ルーチンの流れを示すフローチャート

【図 19】

エアフローメータの出力と吸気管圧力センサの出力との相関関係を説明するタイムチャート

【図 20】

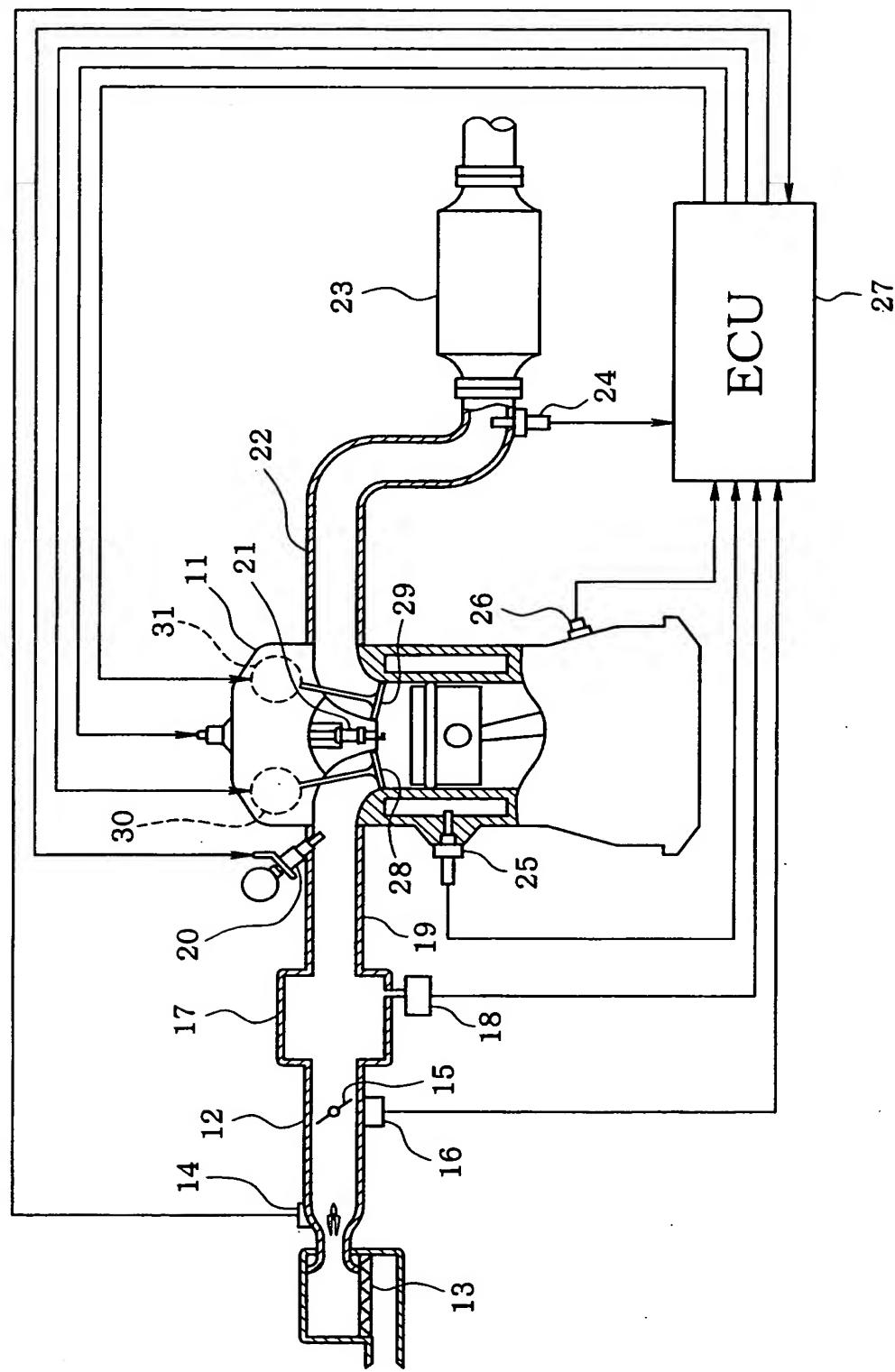
実施形態（5）の各気筒の筒内圧極大値算出ルーチンの処理の流れを示すフローチャート

【符号の説明】

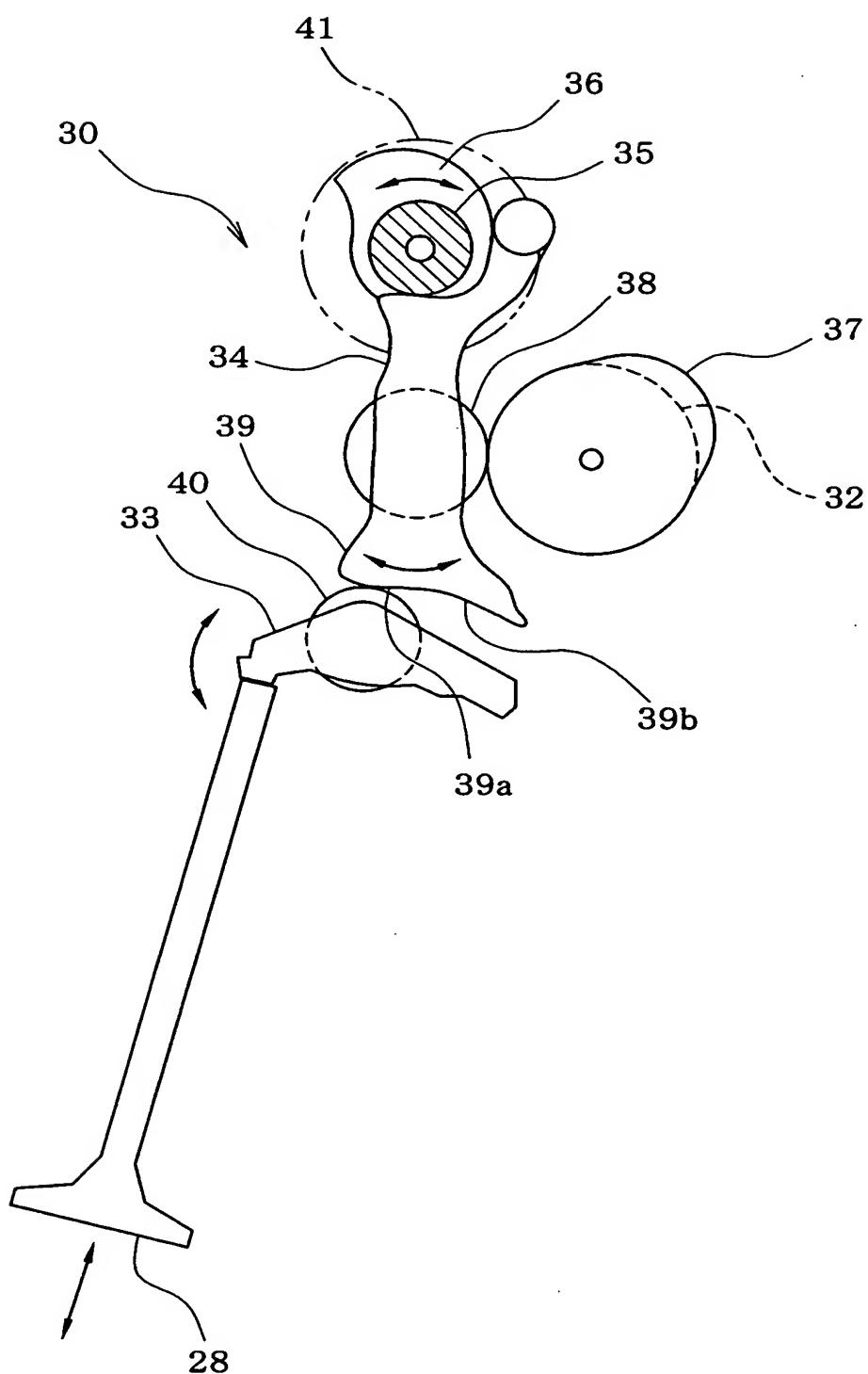
1 1…エンジン（内燃機関）、1 2…吸気管、1 4…エアフローメータ（検出手段）、1 5…スロットルバルブ、1 8…吸気管圧力センサ（検出手段）、2 0…燃料噴射弁、2 1…点火プラグ、2 2…排気管、2 4…排出ガスセンサ、2 6…クランク角センサ、2 7…E C U（気筒間ばらつき学習手段、気筒間ばらつき推定手段）、2 8…吸気バルブ、2 9…排気バルブ、3 0，3 1…可変バルブソフト機構。

【書類名】 図面

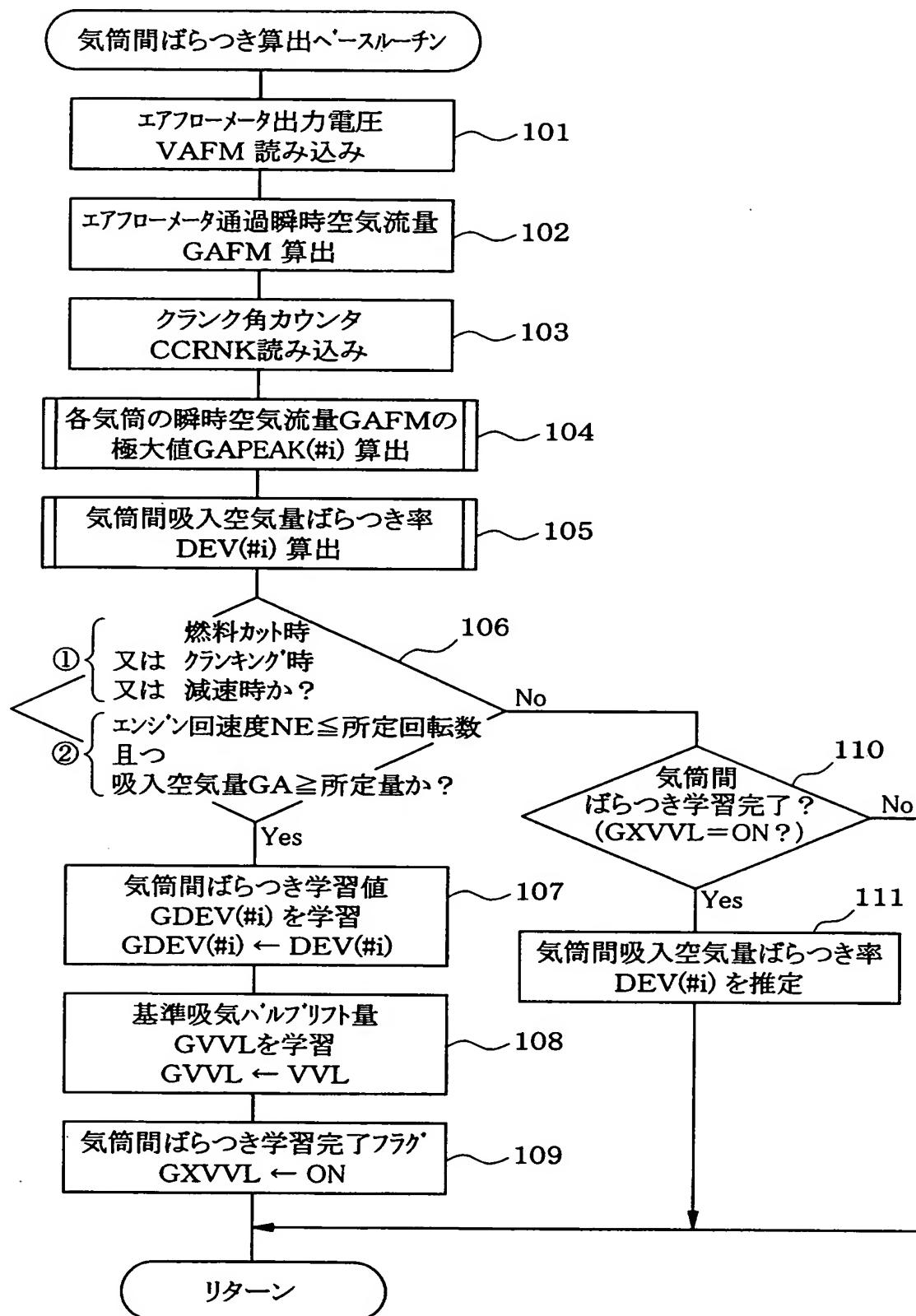
【図1】



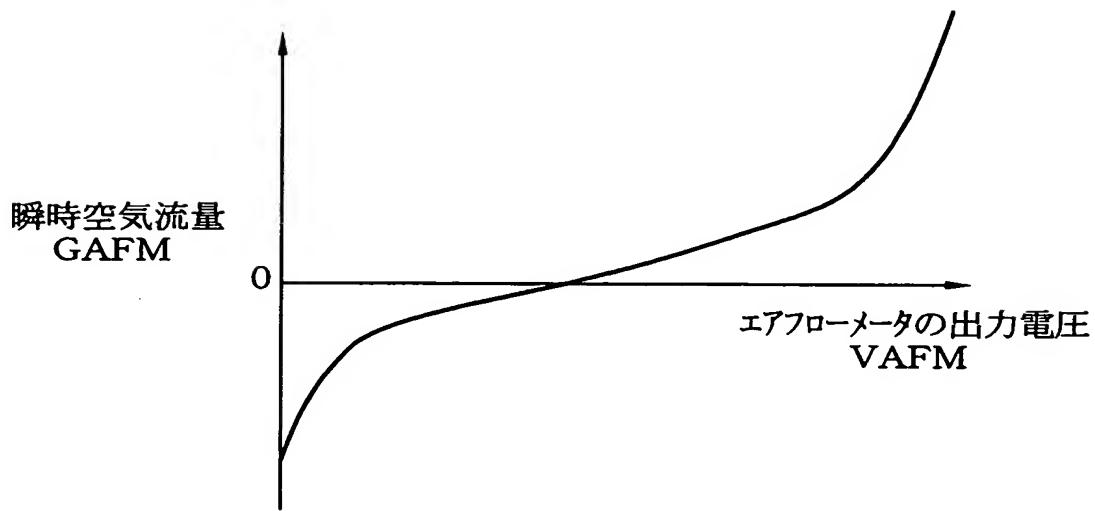
【図 2】



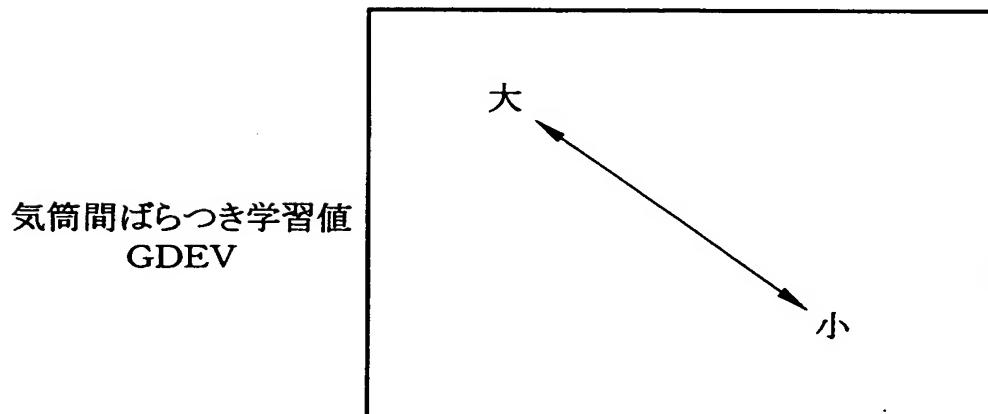
【図3】



【図4】

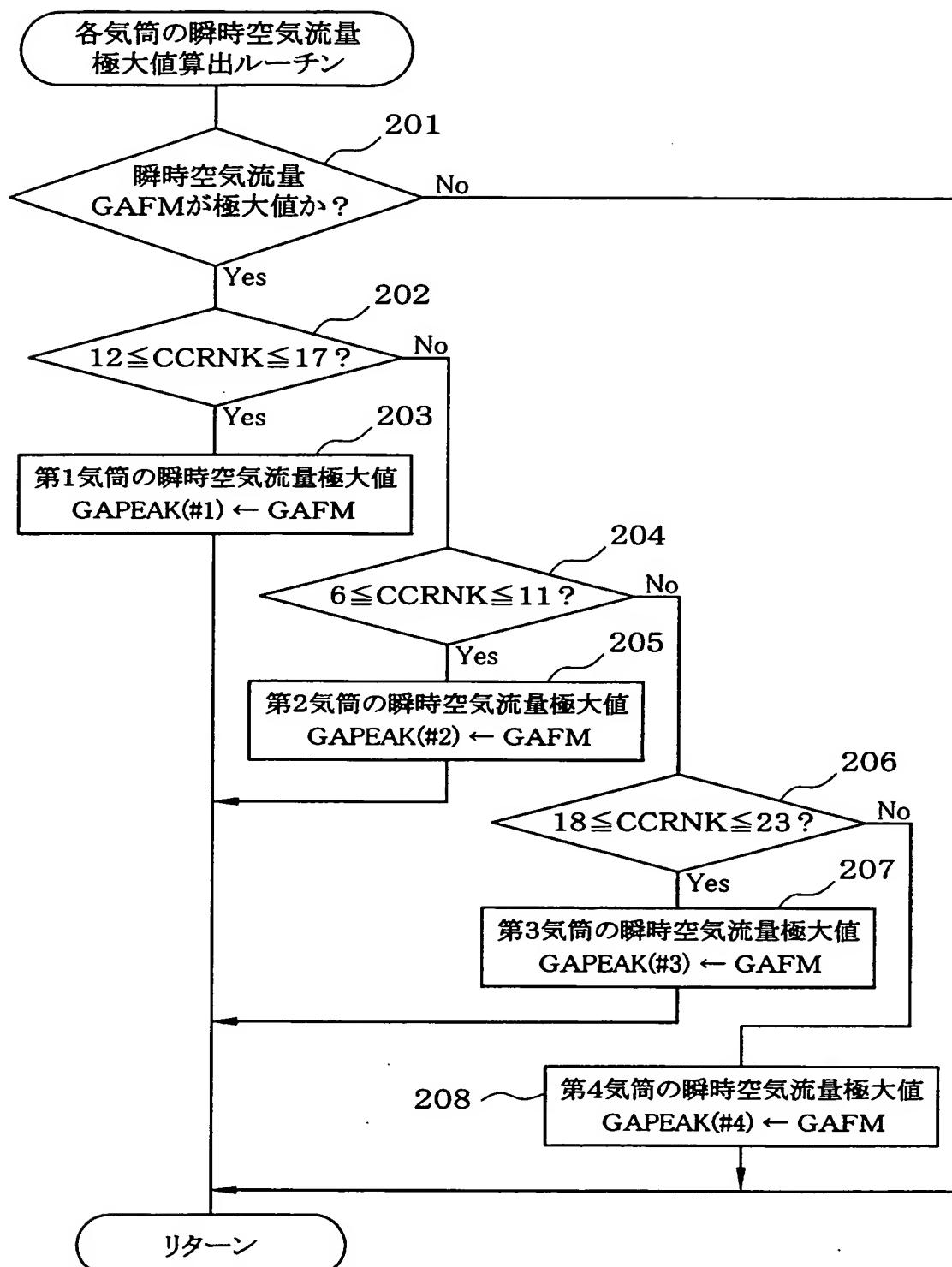
瞬時空気流量GAFMのマップ

【図5】

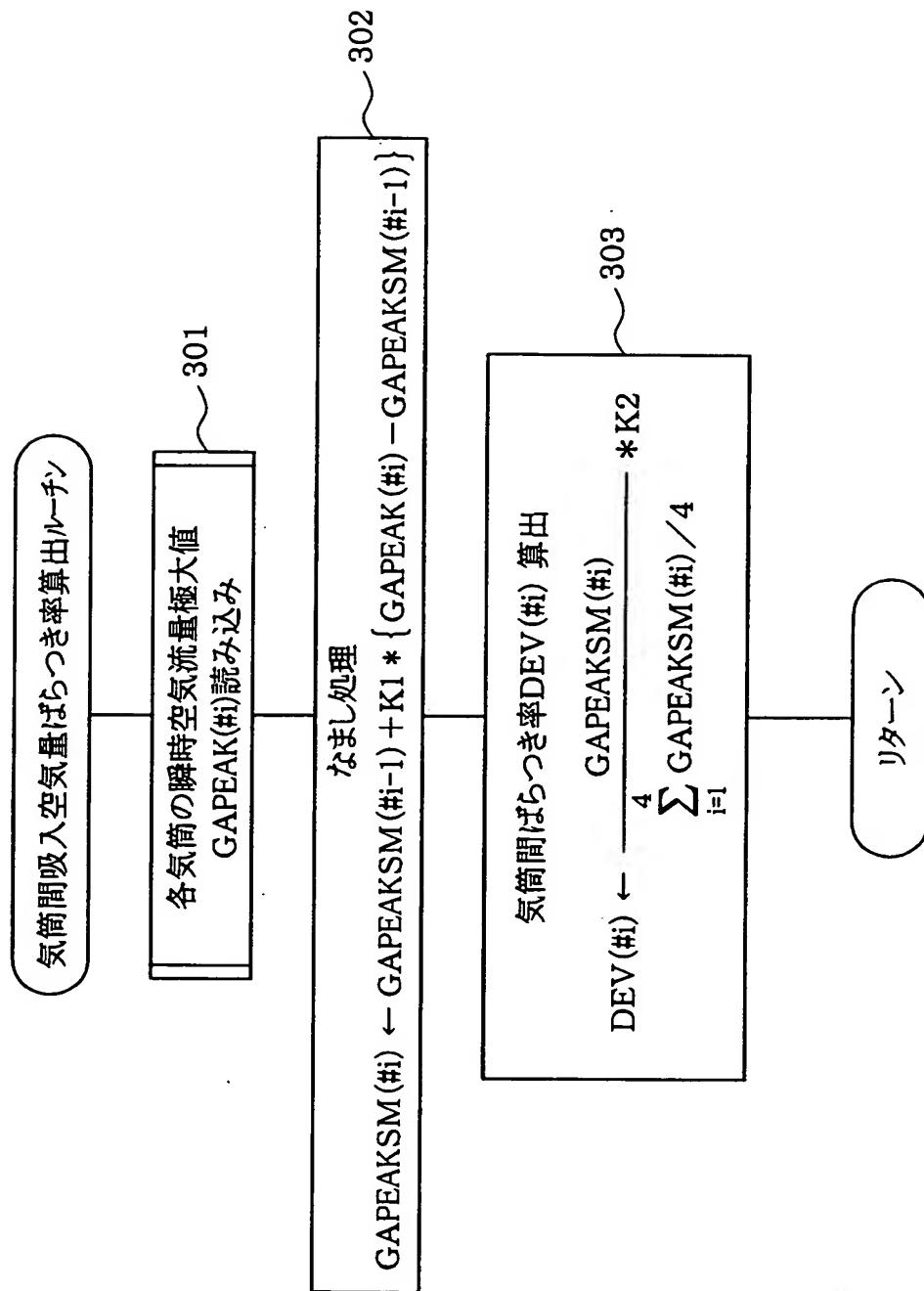
気筒間吸入空気量ばらつき率DEVのマップ

平均吸気バルブリフト量VVLと
基準吸気バルブリフト量GVVLとの比
($VVL/GVVL$)

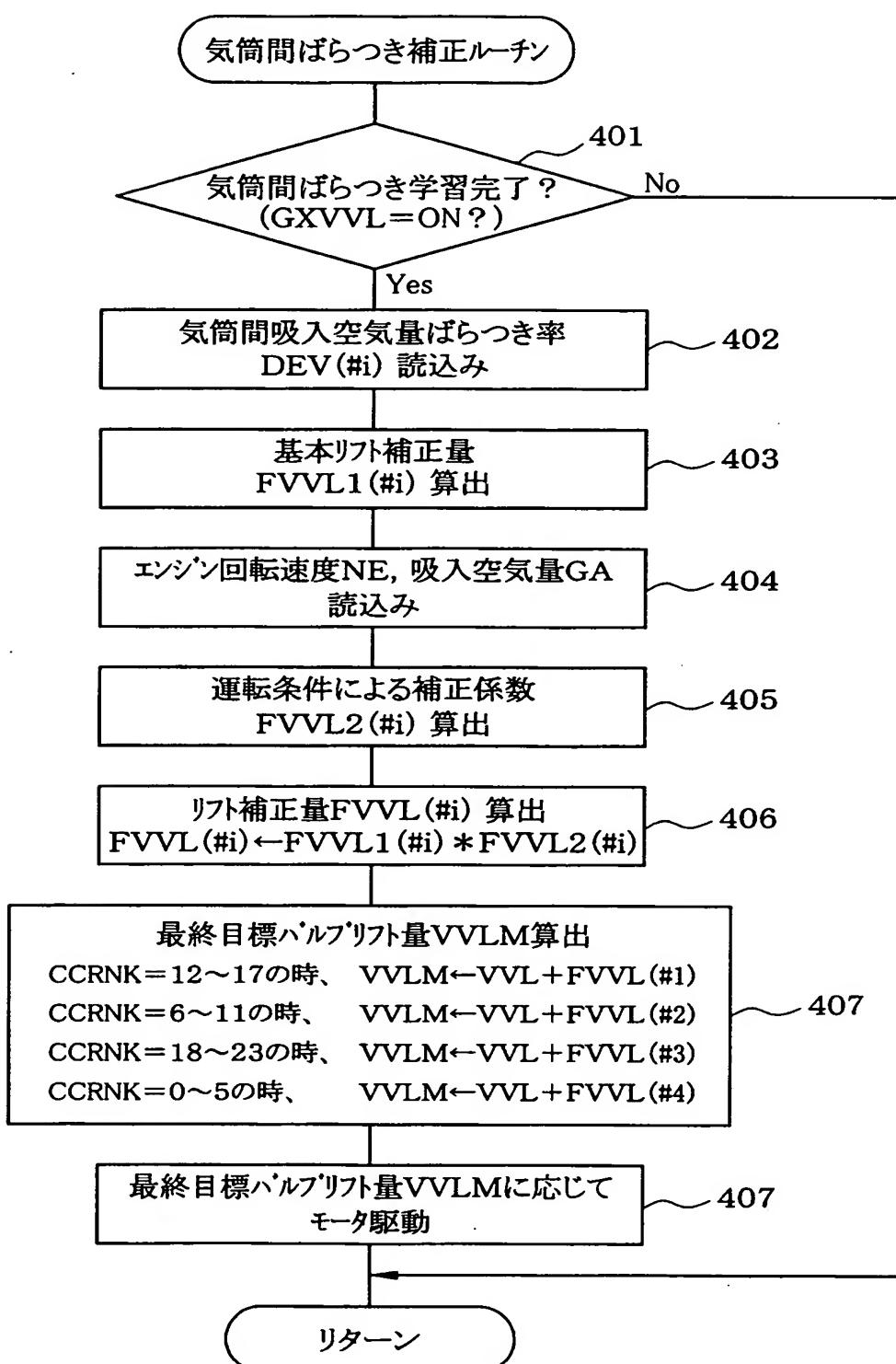
【図 6】



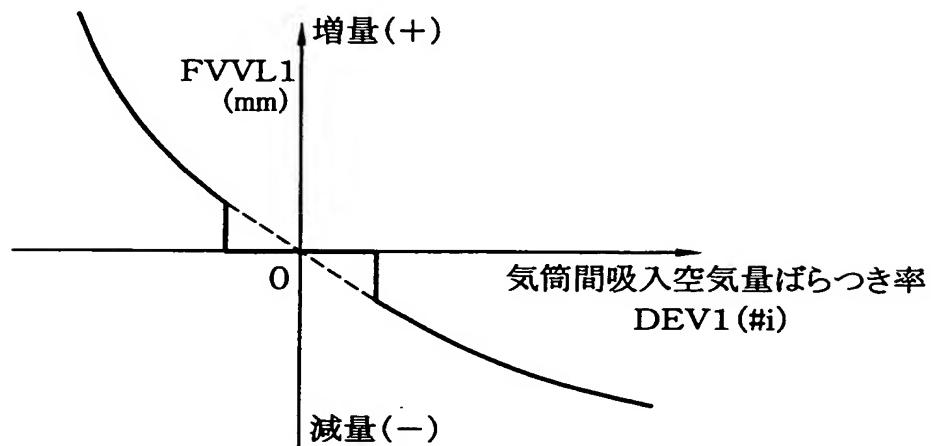
【図 7】



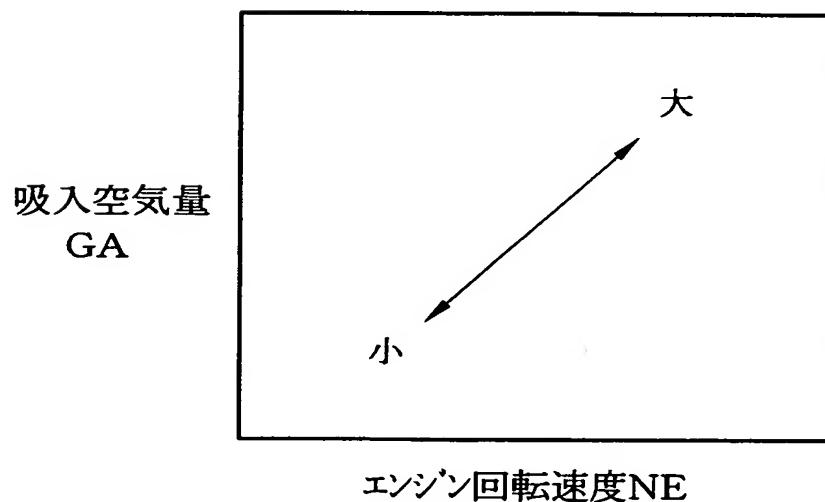
【図8】



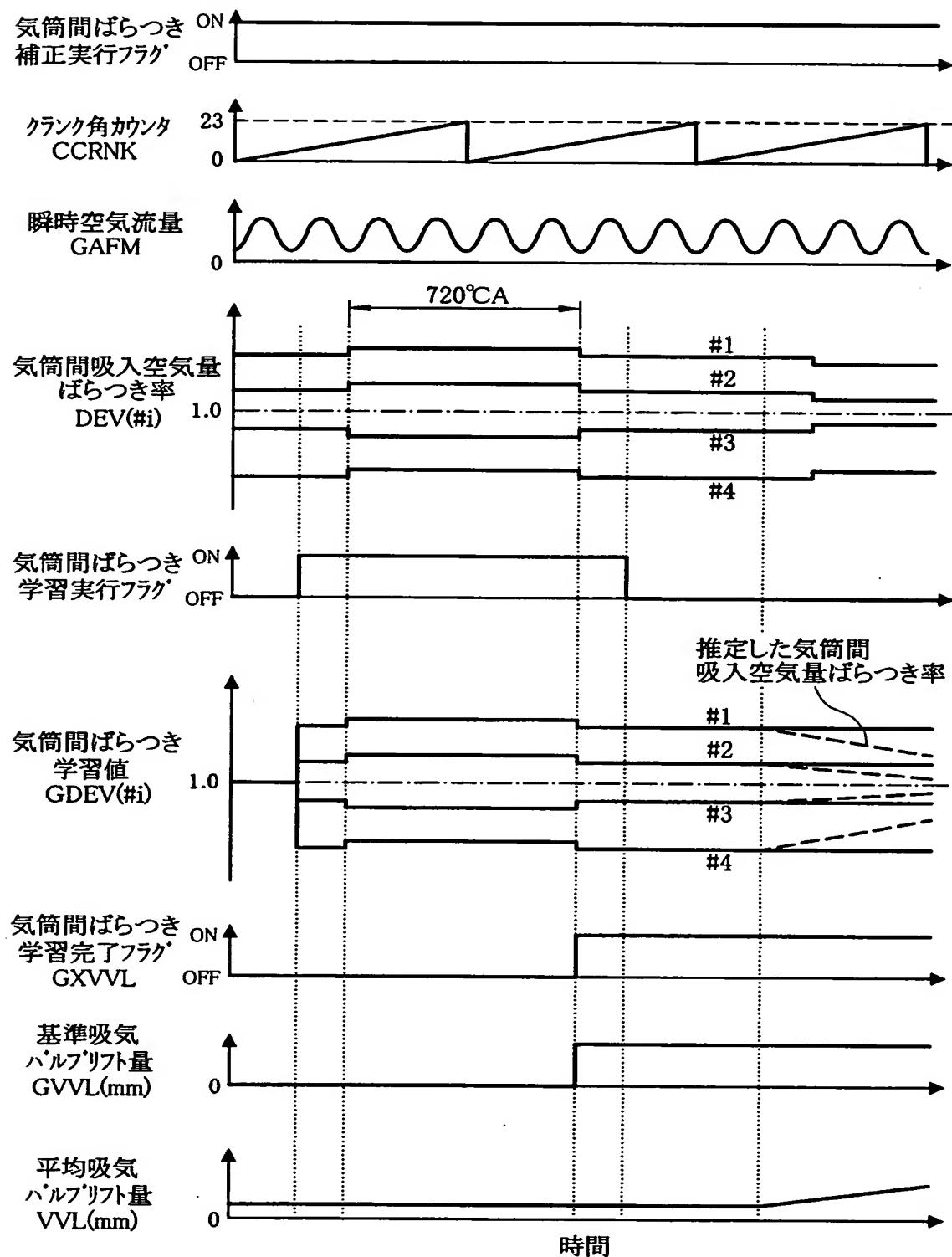
【図 9】

基本リフト補正量FVVL1のマップ

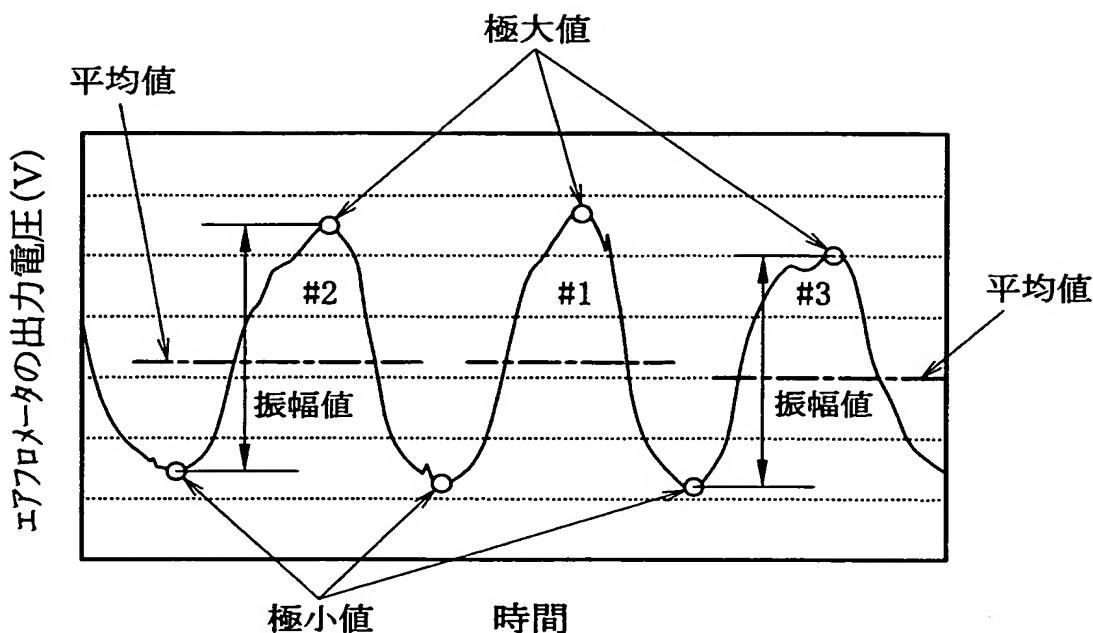
【図 10】

補正係数FVVL2のマップ

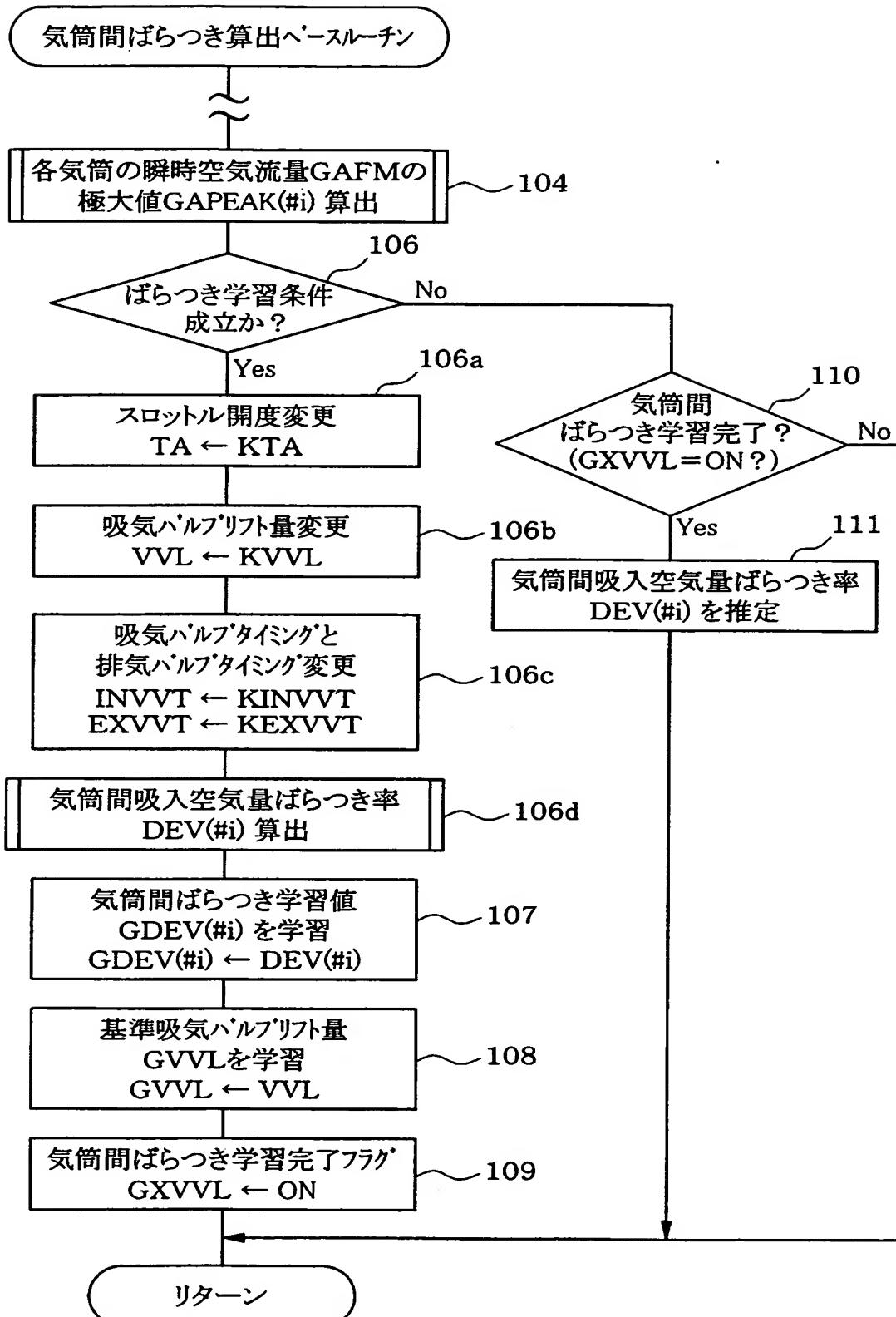
【図 11】



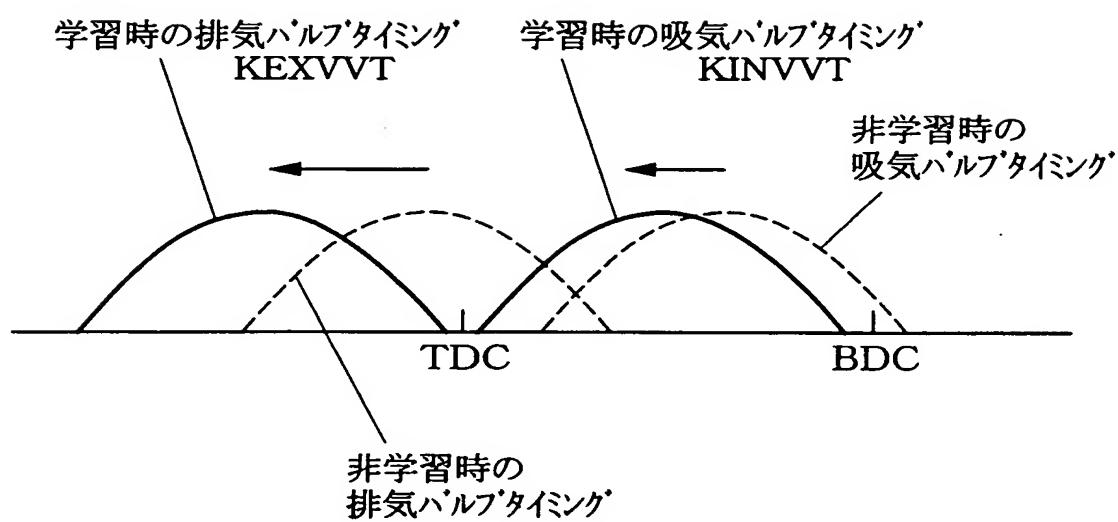
【図12】



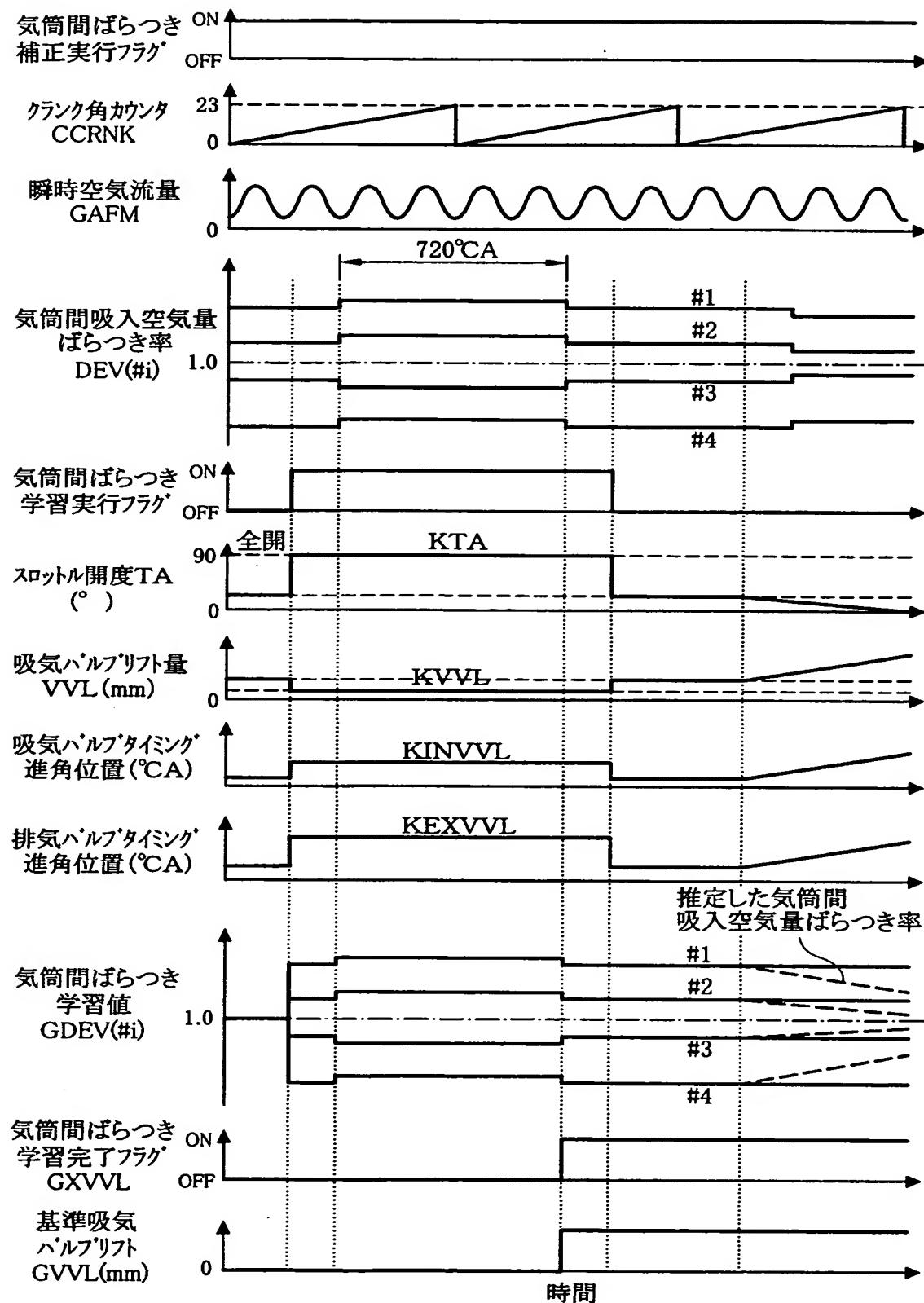
【図13】



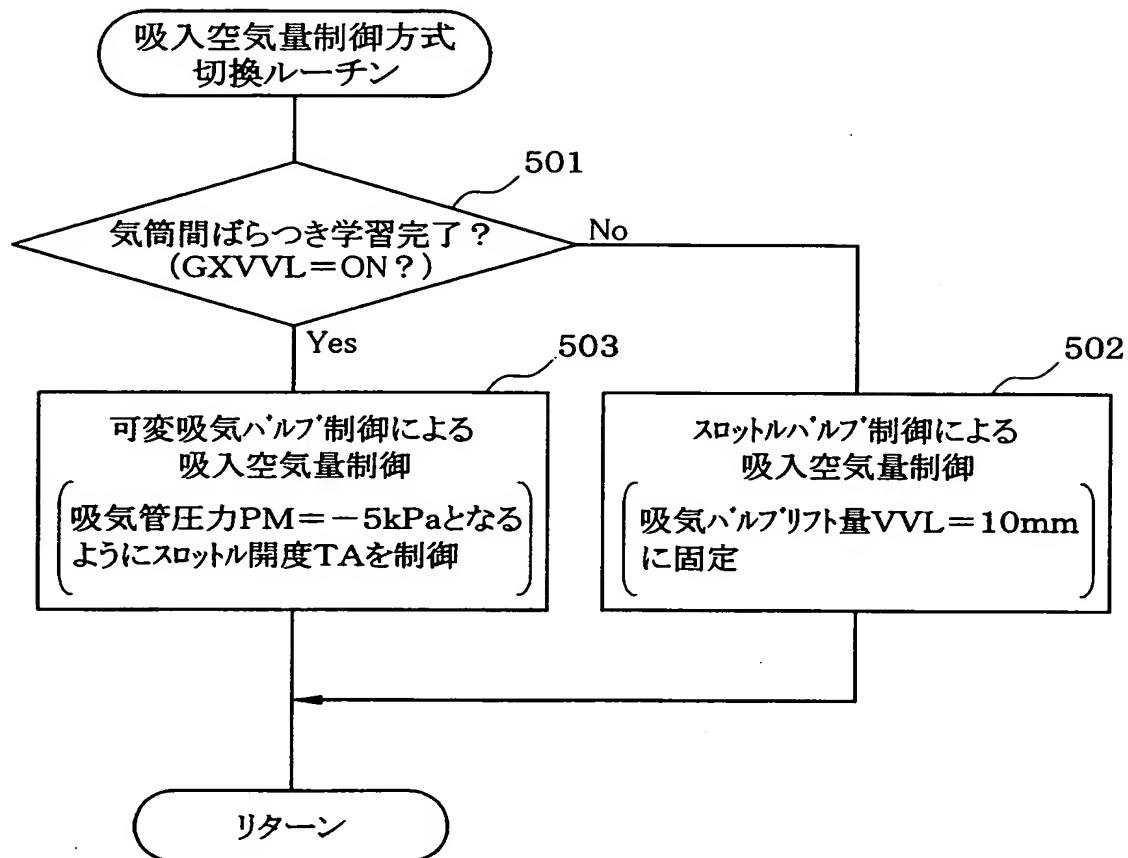
【図14】



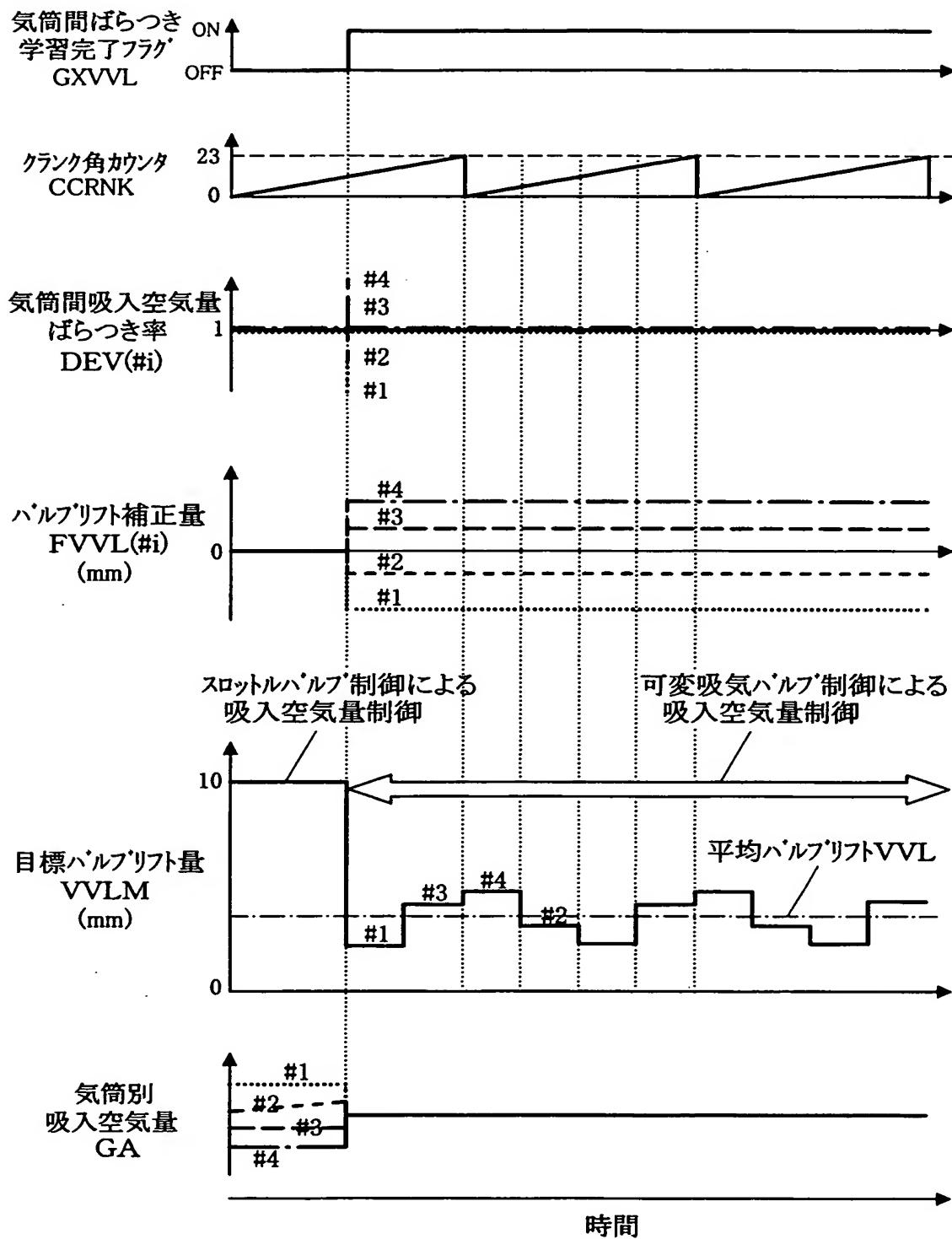
【図15】



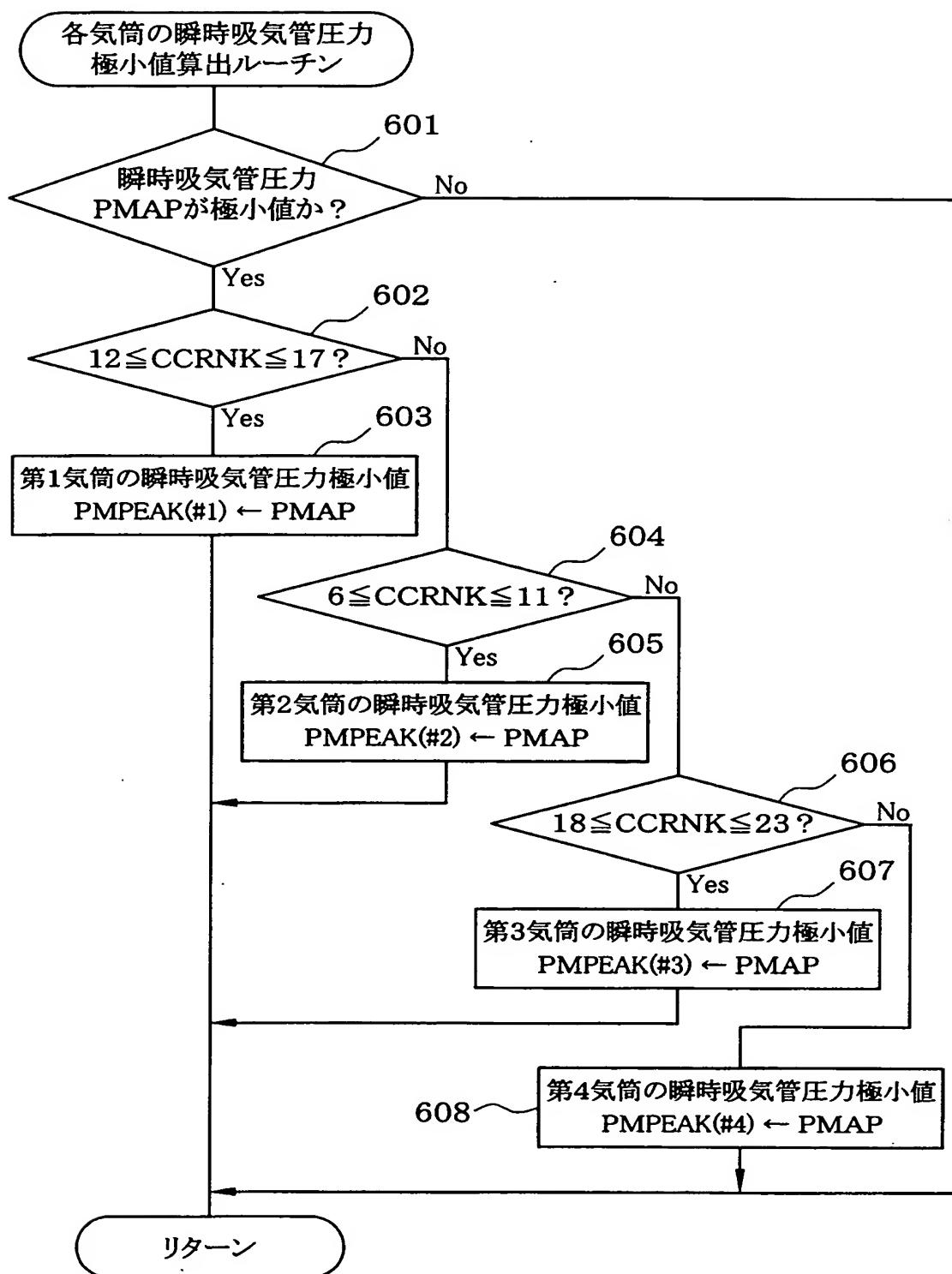
【図16】



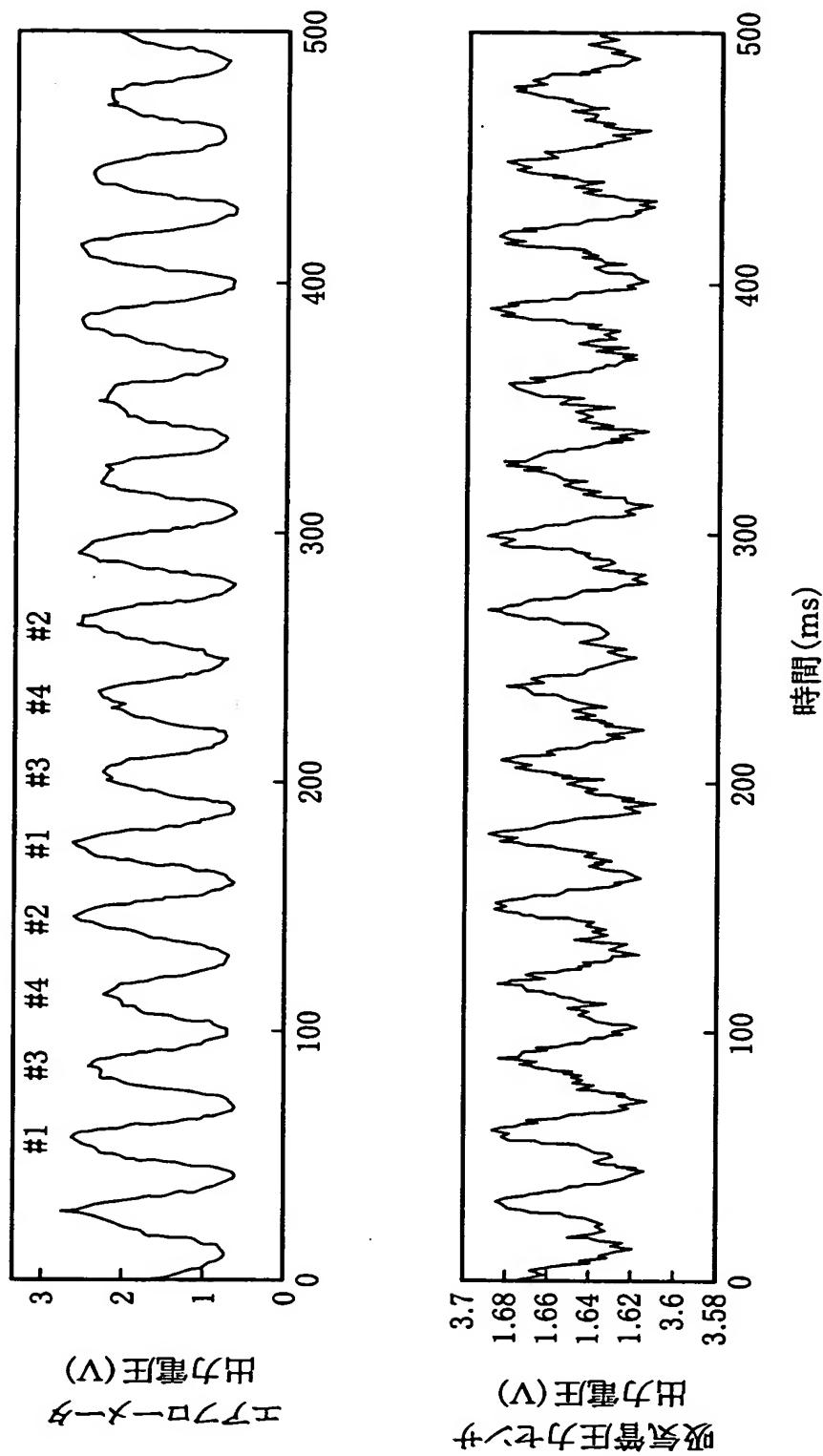
【図17】



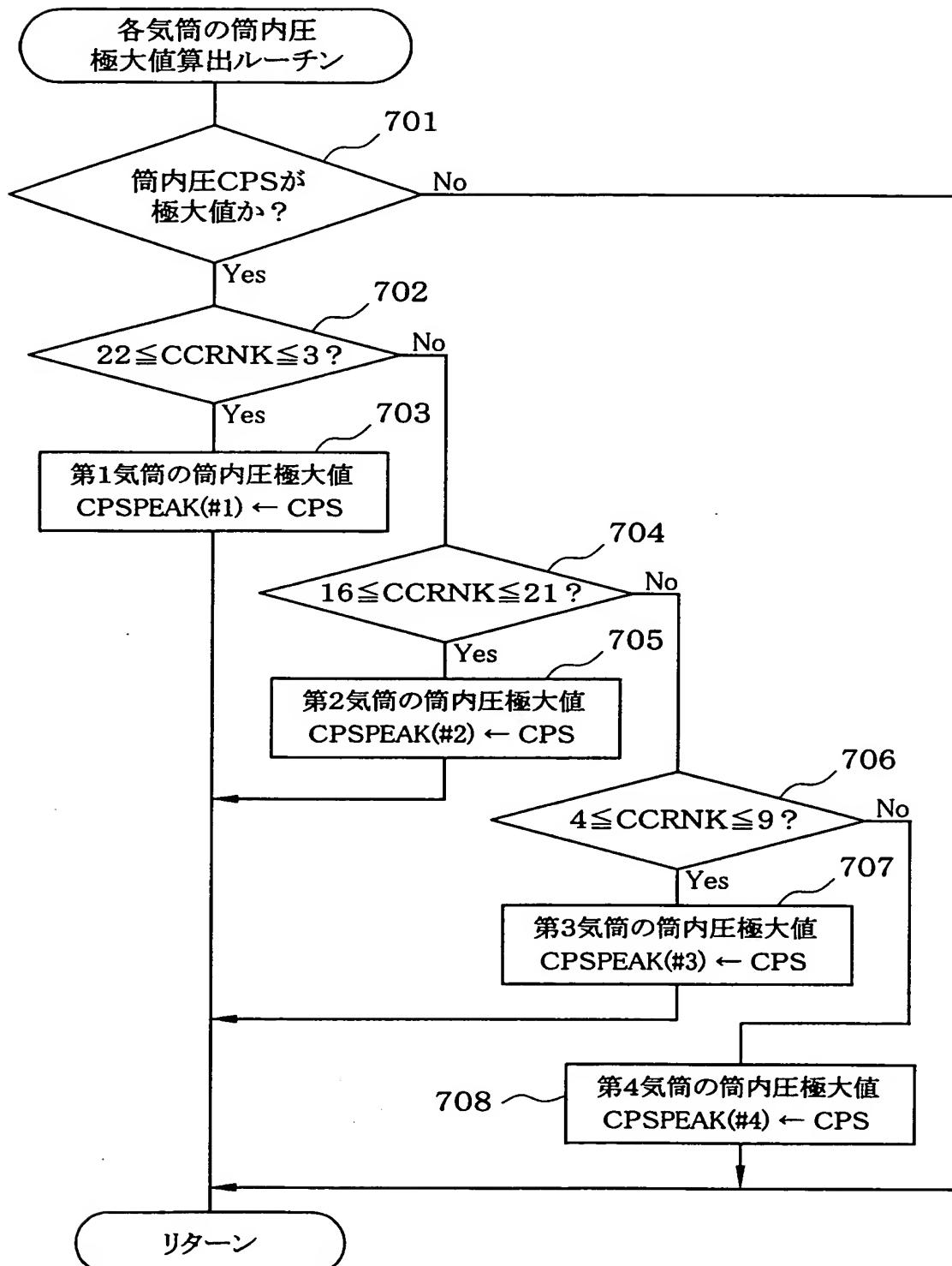
【図18】



【図19】



【図20】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 内燃機関のほぼ全ての運転領域で気筒間の吸入空気量ばらつきを精度良く検出できるようにする。

【解決手段】 1サイクル毎にエアフローメータの出力に基づいて気筒間吸入空気量ばらつき率 $D E V(\#i)$ を算出し、所定のばらつき学習実行条件が成立して気筒間吸入空気量ばらつき率 $D E V(\#i)$ の算出精度を確保できる運転状態のときに算出した気筒間吸入空気量ばらつき率 $D E V(\#i)$ を気筒間ばらつき学習値 $G D E V(\#i)$ として学習し、そのときの平均吸気バルブリフト量 $V L L$ を基準吸気バルブリフト量 $G V V L$ として学習する。その後、ばらつき学習実行条件が不成立となる運転状態のときには、気筒間ばらつき学習値 $G D E V(\#i)$ と基準吸気バルブリフト量 $G V V L$ と現在の平均吸気バルブリフト量 $V L L$ とに基づいて、現在の平均吸気バルブリフト量 $V L L$ に応じた気筒間吸入空気量ばらつき率 $D E V(\#i)$ を算出する。

【選択図】 図11

特願2002-360386

出願人履歴情報

識別番号 [00004260]

1. 変更年月日 1996年10月 8日

[変更理由] 名称変更

住 所 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
氏 名 株式会社デンソー